

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**POMORSKI FAKULTET**

**TEA VRVILO**

**PRIJEVOZ UKAPLJENOG NAFTNOG**  
**PLINA**

**DIPLOMSKI RAD**

**SPLIT, 2017.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**POMORSKI FAKULTET**

**STUDIJ: POMORSKI MENADŽMENT**

**PRIJEVOZ UKAPLJENOG NAFTNOG  
PLINA**

**DIPLOMSKI RAD**

**MENTOR:**

**dr. sc. GORAN BELAMARIĆ, kap**

**STUDENT:**

**TEA VRVILO**

**(MB: 0171255295)**

**SPLIT, 2017.**

## SAŽETAK

U ovom je radu obrađena tema vezana za prijevoz ukapljenog naftnog plina. Tankeri za prijevoz ukapljenog naftnog plina se smatraju plovilima izrazito visoke opasnosti zbog posebnih uvjeta kojima moraju udovoljavati tijekom prijevoza i dijele se na „tlačne brodove“ i potpuno rashlađene brodove. „Tlačni brodovi“ se mogu podijeliti na potpuno stlačene tankere i tankere pod polu tlakom (polurashlađene) i kao takvi moraju biti osposobljeni za ukrcaj, prijevoz i iskrcaj tereta, također i za čišćenje od plina ili mijenjanje tereta koji se prevozi. Potpuno rashlađeni brodovi su veći od tlačnih i budući da tankovi u koje se krca teret nisu izloženi visokom tlaku, kao što je to slučaj kod polurashlađenih brodova, trebali bi biti „kutijastog oblika“ radi boljeg iskorištavanja prostora. Opća načela manipulacije teretom na ovakvim brodovima uključuju: ukrcaj, iskrcaj, čišćenje tereta od štetnih plinova i hlađenje tankova prije ukrcaja tereta, a poslije čišćenja od štetnih plinova.

**Ključne riječi:** *ukapljeni naftni plin, tlačni brodovi, brodovi s potpuno stlačenim plinom, polurashlađeni brodovi, potpuno rashlađeni brodovi*

## ABSTRACT

This theme deals with topics related to transportation of Liquified Petroleum Gas. Tankers for the transport of Liquifid Petroleum Gas are considered to be highly dangerous vessels due to the special conditions they must meet during the transport and are divided into „pressure ships“ and fully refrigerated ships. „Pressure ships“ can be divided into fully pressurized tankers and semi-pressurized tankers and they must be capable of loading, transporting and discharging the cargo, also for gas-freeing or changing cargo. Fully refrigerated tankers are larger than pressure ships and since tanks which are loaded with cargo are not subject to high pressure, such as in semi-refrigerated ships, they should be „box-shaped“ for better space utilization. The general operating principles include: loading, discharging, gas-freeing and cooling down tanks after they have been gas-freed.

**Key words:** *Liquified Petroleum Gas, LNG ships, pressure ships, fully pressurized ships, semi-refrigerated ships, fully-refrigerated ships*

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. UKAPLJENI PLINOVI.....</b>	<b>3</b>
2.1. OPĆENITO .....	3
2.2. UKAPLJIVANJE PLINOVA .....	4
2.3. OSNOVNA SVOJSTVA UKAPLJENIH UGLJIKOVODIKA I KEMIJSKIH PLINOVA KOJI SE PREVOZE BRODOVIMA .....	5
2.3. REAKTIVNOST UKAPLJENIH PLINOVA .....	6
2.4. EFEKTI NISKIH TEMPERATURA .....	8
2.5. TLAK.....	10
<b>3. UKAPLJENI PRIRODNI PLIN .....</b>	<b>12</b>
<b>4. UKAPLJENI NAFTNI PLIN.....</b>	<b>14</b>
<b>5. RAZLIKA IZMEĐU LNG I LPG PLINOVA.....</b>	<b>17</b>
<b>6. RAZVOJ TANKERA ZA PRIJEVOZ UKAPLJENIH PLINOVA.....</b>	<b>18</b>
<b>7. TLAČNI BRODOVI .....</b>	<b>20</b>
7.1. OPĆA NAČELA MANIPULACIJE TERETOM .....	22
7.1.1. Ukrcaj , iskrcaj, hlađenje tereta i čišćenje od plina .....	23
7.2. VOĐENJE OPERACIJA S TERETOM .....	25
7.2.1. Polurashlađeni teret.....	25
7.2.2. Potpuno rashlađeni teret pri atmosferskom tlaku .....	29
<b>8. POTPUNO RASHLAĐENI BRODOVI .....</b>	<b>31</b>
8.1. OPĆA NAČELA MANIPULACIJE TERETOM .....	35
8.2. POSTUPAK UPRAVLJANJA TERETOM.....	39
<b>9. IZRAČUN TERETA.....</b>	<b>40</b>
9.1. SIGURNOST.....	41
<b>10. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>43</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>45</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>46</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>47</b>
<b>POPIS KRATICA .....</b>	<b>48</b>

## 1. UVOD

Ukapljeni naftni plin (*Liquified Petroleum Gas – LPG*), također poznat kao propan - butan ili autoplin je mješavina plinova koja se pri temperaturi i tlaku okoline nalazi u plinovitom stanju, a pri povećanju tlaka prelazi u tekuće stanje. U mješavini dominira metan, a u manjim postotcima se mogu naći i drugi plinovi npr. etan, propan i butan. Metan je po svom kemijskom sastavu zasićeni ugljikovodik s jednim atomom ugljika i četiri atoma vodika kemijske oznake CH<sub>4</sub>. [3]

Brodovi za prijevoz ukapljenog naftnog plina su plovila koja služe za prijevoz ukapljenog plina LPG i takvi brodovi se, zajedno sa specijalnim brodovima za prijevoz opasnih kemikalija u rasutom stanju, smatraju plovilima izrazito visoke opasnosti i pripadaju najnovijoj generaciji brodova, staroj oko 50-ak godina. [5] Građeni su uz primjenu najsuvremenije tehnologije i namijenjeni prijevozu tereta kojim je potrebno pažljivo rukovati.

Detaljni postupci rukovanja teretom na LPG brodovima ovisiti će o uvjetima pod kojima se teret treba ukrcati, prevoziti i iskrcati – bilo pod potpunim tlakom, polu-tlakom ili potpuno rashlađenim pri uvjetima atmosferskog tlaka.

Priprema tankova se obavlja prije ukrcaja i toj fazi se tankovi pripremaju za prijem tereta koji će se prevoziti.

Ukrcaj podrazumijeva različite postupke, ovisno o objektima kojima raspolaže terminal za ukrcaj. Obuhvaća izračune za utvrđivanje točnih sondiranja (dubine tekućine) za krcanje bilo punog tereta ili određene količine i za naknadno izračunavanje, što je točnije moguće, stvarno ukrcane količine.

Prijevoz tereta obuhvaća čuvanje tereta zbog zaštite od gubitka, vođenje pogona za ukapljivanje i osiguravanje da tankovi ne postanu prepuni zbog pogrešne operacije vraćanja kondenzata iz postrojenja za ukapljivanje, rutinsku provjeru tlaka u tanku i podešavanje stupnja rashlađenosti u skladu s tim tako da je brod spreman za iskrcaj po dolasku na terminal.

Zadnja operacija, operacija iskrcaja, ovisiti će o postrojenjima za iskrcaj kojima raspolaže terminal za prijem i vrsti potrebnog iskrcaja – ako se direktno iskrcava u potpuno rashlađeno skladište ili se to obavlja preko grijača tereta.

Rad je podijeljen u deset poglavlja.

Nakon uvoda, u drugom dijelu rada, opisivati će se općenita svojstva ukapljenih plinova, objasniti će se proces ukapljivanja plinova, osnovna svojstva ukapljenih ugljikovodika i drugih kemijskih spojeva koji se prevoze, reaktivnost ukapljenih plinova, efekti niskih temperatura i tlak.

U trećem dijelu ukratko će se navesti pojam i karakteristike ukapljenog prirodnog plina (LNG) te postupci pri prijevozu LNG-a.

U četvrtom dijelu detaljno će se objasniti pojam, sastav i svojstva ukapljenog naftnog plina.

U petom dijelu će se navesti razlike između LPG-a i LNG-a u kemijskim formulama, gustoći i spaljivanju.

U šestom dijelu objasniti će se razvoj tankera za prijevoz ukapljenih plinova.

U sedmom dijelu rada objasniti će se tlačni brodovi, opća načela manipulacije teretom - ukrcaj, iskrcaj, hlađenje tereta i čišćenje od plina, te vođenje operacija s teretom kod polurashlađenog i potpuno rashlađenog tereta pri atmosferskom tlaku.

U osmom dijelu rada detaljno će se objasniti potpuno rashlađeni brodovi, opća načela manipulacije teretom i postupak upravljanja teretom.

U devetom dijelu rada objasniti će se postupak izračuna tereta. Objasniti će se dvije glavne metode izračuna količine tekućine na brodu, zakoni na kojima se temelji formula za izračun količine pare na brodu te postupci kod polurashlađenih i tlačnih brodova. Nakon toga će se navesti postupci sigurnosti na brodovima za prijevoz ukapljenog naftnog plina.

U desetom i zaključnom dijelu, sažeto će se iznijeti najvažniji dijelovi obrađene tematike.

## 2. UKAPLJENI PLINOVİ

### 2.1. OPĆENITO

Ukapljeni plinovi su tvari čija je kritična temperatura niža od 50°C ili im je kod 50°C tlak para viši od 3 bara. Upotrebljava se izraz „ukapljeni plin“ što je kontradiktorno jer kapljevina je definirano stanje kao što je i plin definirano stanje. Postavlja se pitanje – što je onda tvar koja se naziva ukapljeni plin? Živa također mora biti ukapljeni plin iz istog razloga. Obje ove supstance mogu biti formirane kondenziranjem ili ukapljivanjem njihovih plinova, ali niti jedna od njih nije poznata kao plin. [1]

Temperatura u svemiru može varirati od apsolutne nule (-273°C) u vanjskom prostoru svemira do nekoliko tisuća stupnjeva u središtu Sunca. Prostor u kojem postoji život na Zemlji spada unutar uskog pojasa od oko 120°C, a većina ovog života egzistira u granicama od 15°C do +45°C.

Izgleda, stoga, da se tvari koje egzistiraju u ovom području kao kapljevine nazivaju kapljevine, a tvari koje egzistiraju kao plinovi nazivaju ukapljeni plinovi, kada su ukapljeni.

Ukapljeni prirodni plin (*Liquified Natural Gas – LNG*) i ukapljeni naftni plin (*Liquified Petroleum Gas – LPG*) su plinovi ugljikovodici koji se dobivaju u rafinerijama nafte i bušotinama nafte i plina. Kod normalne temperature i tlaka su u plinovitom stanju dok sniženjem temperature i povećanjem tlaka prelaze u tekuće stanje. Ukapljeni plinovi se regularno prevoze brodovima kao tekućine i to kod: [1]

- okolne temperature (brodovi za prijevoz ukapljenih plinova pod tlakom)
- atmosferskog tlaka (brodovi za prijevoz pothlađenih ukapljenih plinova) ili niže temperature i pod tlakom (brodovi za prijevoz polupothlađenih ukapljenih plinova).

Prilikom prijevoza ukapljenih plinova dolazi do isparavanja tereta i stvaranja zapaljivih para. Različiti tereti oslobađaju različite količine para što ovisi o sastavu tereta, temperaturi i tlaku.

## 2.2. UKAPLJIVANJE PLINOVA

Ukapljivanje plinova ili likvefakcija je proces prevođenja plinova u tekuće agregatno stanje. Primjeri tekućih plinova su zrak, ukapljeni prirodni plin (LNG) i ukapljeni naftni plin (LPG). Postupak se provodi najviše zbog lakšega prijevoza i skladištenja plinova, te za postizanje niskih temperatura. Plinovi se mogu ukapljiti hlađenjem, stlačivanjem ili kombinacijom tih postupaka pri čemu značajnu ulogu imaju kritični tlak i kritična temperatura koji su svojstveni svakom plinu posebno. Ukapljivanje samo stlačivanjem pri stalnoj temperaturi uspijeva ako je ta temperatura niža od kritične, a samo hlađenjem pri stalnom tlaku ako je tlak niži od kritičnoga. Tako će tlak pri stalnom atmosferskom tlaku prijeći iz plinovitog u tekuće agregatno stanje kada ga se ohladi na  $-194^{\circ}\text{C}$ . Slično tomu dolazi do ukapljivanja zraka njegovim tlačenjem na dovoljno visok tlak pri stalnoj temperaturi nižoj od kritične. Za zrak je, zbog njegove niske kritične temperature, takav postupak nepraktičan, ali je prikladan za ugljikov dioksid, koji poprima tekuće stanje primjenom tlaka od 57.4 bara, pri temperaturi od  $20^{\circ}\text{C}$ .

Danas se od plinova najviše ukapluje zrak, iz kojega se frakcijskom destilacijom izdvaja kisik za metalnu i kemijsku industriju; dušik, koji se u tekućem stanju koristi za postizanje niskih temperatura; te plemeniti plinovi - prije svega argon. Osim zraka, u velikim se količinama ukapljuju i gorivi plinovi: smjesa propana i butana u bocama za kućansku upotrebu tekuća je pri sobnoj temperaturi već na umjerenim tlakovima, a za ukapljivanje metana pri atmosferskom tlaku potrebno ga je ohladiti na temperaturu od  $-162^{\circ}\text{C}$ .



## 2.3. OSNOVNA SVOJSTVA UKAPLJENIH UGLJIKOVODIKA I KEMIJSKIH PLINOVA KOJI SE PREVOZE BRODOVIMA

Naziv	Formula	Sinonimi
Metan	CH <sub>4</sub> LNG, prirodni plin	
Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Bimetil, dimetil, metil, metan
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> -n-	
Butan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Normalni butan
I - Butan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Izo-butan; 2 - metilpropan
Etilen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Etan
Propilen	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	Propan
Butilen	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	Etil etilen
Butilen	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	Dimetil etilen, pseudo butilen
Butilen	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	Izobuten
Butadien	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	bivinil; 1.3 butadien, divinil
Izopren	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	metil – 1.3 butadien 2 – metil – 1.3 butadien
Vinil klorid monomer	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	Kloereten, kloretilen, VCM
Etilenoksid	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	Dimetilen oksid, oksiran
Propilen oksid	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	Propen oksid, metil oksiren
Amonijak	NH <sub>3</sub>	Ukapljeni amonijak, kemijski plin

**Tablica 1. Naziv, formule i sinonimi ukapljenih ugljikovodika koji se prevoze brodom[1]**

Svi ukapljeni plinovi su zapaljivi i svi osim metana imaju relativnu gustoću para iznad jedan ili blizu jedan. Vinil klorid monomer i amonijak su toksični. Navedeni organski spojevi su alifatski spojevi što znači da sadrže ugljikove atome povezane u obliku otvorenog lanca. Spojevi kod kojih su sve veze među atomima jednostruke se nazivaju zasićenim ugljikovodicima i bez obzira na njihovu zapaljivost, kemijski su inertni.

Nezasićeni su ugljikovodici zbog dvostrukih veza kemijski jako reaktivni. Zasićeni ugljikovodici uglavnom se upotrebljavaju za zagrijavanje i kao motorno gorivo, a nezasićeni u proizvodnji plastičnih masa. LPG su u tekućem stanju, bez boje i mirisa osim ako su im dodana neka kemijska sredstva. Njihove pare imaju u visokim koncentracijama anestetička svojstva. Amonijak se u velikim količinama upotrebljava u proizvodnji umjetnih gnojiva.

## 2.3. REAKTIVNOST UKAPLJENIH PLINOVA

Ukapljeni plin reagira na razne načine: [1]

- s vodom se formiraju hidrati
- sam sa sobom (self-reaction)
- sa zrakom
- s drugim teretom
- s drugim materijalima.

Kod reakcije ukapljenog plina s vodom stvaraju se kristalne tvari tj *hidrati*. Do kontakta s vodom dolazi za vrijeme prijevoza pod određenim uvjetima. Kristali hidrata koji se pri takvom kontaktu stvaraju nalikuju zdrobljenom ledu, a voda za njihovo stvaranje može potjecati od para za purgiranje, vode u sistemu tereta ili vode otopljene u samom teretu.

Hidrati mogu uzrokovati poteškoće u radu pumpi i dovesti do neispravnosti opreme, te je potrebno preventivnim mjerama spriječiti njihovo formiranje.

Određeni tereti, naročito LPG, u sebi mogu imati otopljene vode. Da bi se spriječilo stvaranje hidrata, u takvim je slučajevima dozvoljeno dodavanje male količine odgovarajućeg antifrizu (npr. metanola, etanola) na određenim dijelovima sistema. Treba naglasiti da se ništa ne smije dodavati teretu bez posebne dozvole. Za LPG smjese dozvoljena je mala količina antifrizu, ali za „kemijske“ terete, kao što je etilen, dodatak čak jedne litre na dvije tisuće tona može učiniti teret komercijalno neispravnim. Ako je dozvoljeno dodavanje antifrizu teretu, on se dodaje na mjestima gdje dolazi do ekspanzije jer sniženje temperature i tlaka pospješuje formiranje hidrata. Antifriz aditivi su često zapaljivi i toksični i treba s njima pažljivo rukovati.

Osim reakcije s vodom, ukapljeni plinovi mogu reagirati i *sami sa sobom*. Najčešći oblik takve reakcije je polimerizacija koja je inicirana prisutnošću malih količina tereta ili odgovarajućih metala. Polimerizacijom se oslobađa toplina koja ubrzava reakciju.

IMO Kodeks zahtijeva da tereti koji mogu reagirati sami sa sobom budu inhibirani prije otpreme. Potvrda koja se izdaje na brodu sadrži: [1]

- količinu i ime dodanog inhibitora
- datum kada je dodan i trajanje njegove aktivnosti

- mjere koje treba poduzeti ako putovanje prijeđe vrijeme djelovanja inhibitora
- temperaturne granice koje označavaju djelovanje inhibitora.

Inhibitor ima takva svojstva da isparava sa teretom pa se prilikom procesa ponovnog ukapljivanja (sistem relikvefakcije) dobiva teret bez inhibitora. Kad se obustavi proces relikvefakcije, cijeli sistem treba isprazniti ili isprati inhibiranim teretom.

Topljivost mnogih inhibitora veća je u vodi nego u teretu. Zbog toga ne smije biti vode u sistemu, jer je time koncentracija inhibitora znatno smanjena.

Za neke terete ne postoje inhibitori (npr etilen oksid)i takvi se tereti moraju prevoziti pod inertnim plinom. Inertni plin mora biti cijelo vrijeme pod pretlakom, a sadržaj kisika ne smije nikad prijeći 0,2%. [1]

Kod reakcije *sa zrakom* formiraju se nestabilni spojevi s kisikom koji mogu izazvati eksploziju. IMO Kodeks zahtijeva da se takvi tereti inhibiraju ili prevoze pod inertnim plinom.

Određeni tereti mogu imati jake reakcije *s drugim teretima*, stoga treba spriječiti mogućnost miješanja. To se uobičajeno postiže upotrebom odijeljenih cjevovoda i ventila te odijeljenih sistema za pothlađivanje svakog tereta.

Da bi se ustanovilo reagiraju li dva tereta opasno, treba pregledati podatke o karakteristikama oba tereta – Data sheets.

Kod reakcije ukapljenog plina *s drugim materijalima*, Data sheets, odnosno podaci o karakteristikama, sadrže popis materijala koji ne smiju doći u kontakt s teretom. Materijali koji se upotrebljavaju u sistemu tereta moraju biti kompatibilni s njim (npr. brtve).

Može doći do reakcije između tereta i para za purgiranje slabe kvalitete (npr. inertni plin s visokom koncentracijom CO<sub>2</sub> može s amonijakom dovesti do stvaranja spojeva – karbamat). Do reakcija također može doći između ulja za podmazivanje kompresora i nekih tereta što može štetno djelovati na kompresor, pa čak i blokirati njegov rad.

## 2.4. EFEKTI NISKIH TEMPERATURA

Ukapljeni plin uglavnom se prevozi ukapljen pri atmosferskom tlaku i niskoj temperaturi koja predstavlja potencijalnu opasnost za osoblje broda i opremu. Instrumenti za mjerenje temperature moraju biti dobro održavani i pravilno kalibrirani.

Prema Međunarodnom pravilniku o konstrukciji i opremi brodova koji prevoze ukapljene plinove u rasutom stanju, opasnosti se razvrstavaju na: požar, otrovnost, korozivnost, reaktivnost, nisku temperaturu i tlak.

Učinci niskih temperatura se ogledaju kroz: [1]

- krhki lom
- propuštanje
- pothlađivanje
- hladna mjesta
- nakupljanje leda.

Mnogi metali i legure pri niskim temperaturama postaju tvrdi i manje elastični jer pad temperature mijenja kristalnu strukturu materijala. Čelici koji se upotrebljavaju u brodogradnji ispod 0°C naglo gube elastičnost i čvrstoću. Zbog toga treba spriječiti kontakt hladnog tereta sa takvim čelicima, jer naglim hlađenjem metal postaje krhak i dolazi do naprezanja uslijed kontrakcije. Pod takvim uvjetima metal ne može podnijeti kombinirana statička, dinamička i termička opterećenja te dolazi do loma. Ti se lomovi nazivaju *krhki lomovi*, događaju se iznenada, sa vrlo malom plastičnom deformacijom, a na površini loma se jasno uočava kristalična struktura. Međutim, elastičnost i unutarnji otpor, kod materijala kao što su: aluminij, nehrđajući čelici i specijalne legure čelika, bakar i nikal, rastu kod niskih temperatura. Takvi se materijali upotrebljavaju tamo gdje dolazi do direktnog kontakta sa hladnim teretom.

*Propuštanje tereta* se mora spriječiti zbog opasnosti za osoblje i već navedenog „krhkog loma“. Razlivena tekućina isparava, a prisutnost para uvjetuje upotrebu aparata za disanje. Ako se propuštena tekućina skuplja u sakupljaču tekućine, posuda se mora poklopiti kako bi se spriječio neželjeni dodir. U tom slučaju treba omogućiti isparavanje, osim ako sakupljač tekućine sadrži sistem za odvođenje tekućine. Ukapljeni plinovi brzo postižu

ravnotežu i vidljivo ključanje prestaje. Postoji opasnost da se ta bezbojna i mirna tekućina u sakupljaču zamijeni s vodom. Zbog toga se nikad ne smije stavljati u sakupljač.

Prilikom pretovara tereta uvijek treba pod razne spojeve postaviti odgovarajuće sakupljače tekućine.

Ako se ukapljeni plin razlijeva u more, zbog egzotermne reakcije, oslobađa se velika količina para. Ove pare mogu izazvati požar i ugroziti zdravlje ljudi. Posebno treba paziti da ne dođe do takvog razlijevanja, osobito prilikom rastavljanja cijevi za pretovar tereta.

Neki od faktora koji određuju mjere koje treba poduzeti u slučaju izlijevanja ili propuštanja tekućih kemikalija su:

1. Tekućina mora biti identificirana.
2. Mora se poznavati otrovnost.
3. Temperatura zapaljivosti i temperatura okoline moraju se usporediti. Ako je okolna temperatura veća stvaraju se zapaljive pare.
4. Područje zapaljivosti – je li usko ili široko? Opasnost je veća što je područje zapaljivosti šire.
5. Relativna gustoća – je li veća ili manja od 1? Ako je manja od 1 tada će tekuća kemikalija plivati na površini vode.
6. Topivost u vodi – je li tekućina topiva u vodi ili nije, reagira li s vodom?
7. Relativna gustoća para – je li vrijednost veća ili manja od 1? Ako je veća od 1 para će se spustiti prema zemlji.
8. Postoji li izvor paljenja? Temperatura izvora paljenja je uglavnom viša od 800°C. Temperature paljenja mnogih tekućih kemikalija su niže od 540°C.
9. Koji je smjer vjetrova, kolika je vlažnost, i dr.?

Kada se teret prevozi pri niskoj temperaturi, sistem mora biti *pothlađen* na temperaturu tereta prije ukrcaja. Sistemi tereta su konstruirani tako da mogu podnijeti odgovarajuće radne temperature. Naglim pothlađivanjem sistema dolazi do naprezanja uslijed termičkog šoka, što može izazvati „krhki lom“ iz tog razloga pothlađivati treba oprezno, poštujući uputstva.

*Hladna mjesta* („Cold Spots“) i formiranje snijega na površinama čeličnih dijelova broda pokazatelj su lokalnog oštećenja izolacije koja okružuje prostore tereta i sprječava da temperatura čeličnih dijelova broda ne padne ispod dozvoljenih granica. Redovitim

kontrolama može se ustanoviti je li došlo do takvih oštećenja. Ako se utvrdi postojanje „hladnih mjesta“, čelični limovi se zaštićuju održavanjem odgovarajuće temperature, direktnim zalijevanjem vodom, a ako to nije efikasno, treba susjedni prostor ispuniti balastnom vodom. Ako postoji sistem za grijanje, prvenstveno će se on koristiti.

Niska temperatura tereta može zamrznuti vodu u sistemu i *formirati led*, što dovodi do blokiranja i oštećenja pumpi, ventila, itd. Led se formira od prisutne vlage u sistemu, pare za purgiranje ili vode koja je otopljena u teretu.

Posljedice djelovanja formiranog leda slične su djelovanju hidrata. Formiranje leda se sprječava dodavanjem antifrizu.

## 2.5. TLAK

Ukapljeni plinovi normalno se prevoze kao tekućine i to kod: [1]

- okolne temperature (brod pod tlakom)
- pod atmosferskim tlakom (pothlađen brod)
- pod sniženim temperaturom i tlakom (polupothlađen brod).

Neki relativno opasni tereti, kao što je etilen oksid, moraju se prevoziti ispod točke ključanja kako bi se smanjilo isparavanje i povećala sigurnost. U tim slučajevima tlak u tanku se održava iznad atmosferskog pomoću dušika. Tlakovi ispod ili iznad predviđene granice mogu oštetiti sistem, pa posada mora u potpunosti poznavati sve granične tlakove bilo kojeg dijela sistema tereta. Svako zagrijavanje tereta pojačava isparavanje tekućine, a time i povećanje tlaka u tanku. Posude pod tlakom su konstruirane na način da mogu podnijeti taj porast, ali kod potpuno rashlađenih ili polurashlađenih brodova se kondenzira ispareni dio sistema za relikvefakciju i kondenzat se vraća u tank kao tekućina.

Tlakovi se moraju održavati unutar određenih graničnih vrijednosti, npr. na LNG brodovima se tlak u tankovima održava izgaranjem isparenog dijela u glavnom propulzijskom sistemu ili ispuštanjem u atmosferu. Ako je tlak iznad tekućine porastao, isparavanje sa površine je smanjeno. Vrijedi i obrnuto, ako je tlak smanjen, isparavanje se povećava. Sistem za kontrolu tlaka mora se ispravno održavati i kalibrirati.

Teret obuhvaćen jednim zatvorenim sistemom (npr. cijevi između zatvorenih ventila) može uzrokovati promjenu tlaka. Hladni tekući teret može se zagrijati, što uzrokuje porast

tlaka, dok zagrijana para, osobito butana i butadiena kondenzira, što dovodi do pada tlaka. Na mjestima gdje bi teret mogao ostati zatvoren u cjevovodu između dva ventila, moraju se ugraditi sigurnosni ventili, kako bi se smanjio tlak koji nastaje isparavanjem tekućeg tereta. Ovi sigurnosni ventili vraćaju teret u tank.

Do *hidrauličnog udara*, odnosno visokog tlaka u cjevovodu s tekućim teretom, dolazi ako se ventili otvore ili zatvore previše brzo. To dovodi do oštećenja sistema cjevovoda i armature. Brzina zatvaranja daljinski upravljanih ventila mora se provjeriti u radnim uvjetima, jer ventili često imaju drugačije deklarirane karakteristike momenta zatvaranja od onih pri radnim uvjetima. Na cjevovod za prekrcaj tereta ugrađeni su brzozatvarajući ventili koji u slučaju potrebe mogu zaustaviti protok i prekrcaj tereta i time spriječiti propuštanje tekućine i para. Ovi ventili moraju biti tako izvedeni da se u slučaju prestanka napajanja zatvaraju. Vrijeme zatvaranja ventila mora biti minimalno, ali još uvijek u određenim granicama potrebnim da se izbjegne hidraulični udar u cjevovodu.

Tlak u tanku tereta normalno se održava iznad atmosferskog kako bi se spriječio ulazak zraka i mogućnost stvaranja zapaljivih smjesa. Tank koji sadrži samo pare tereta ili inertni plin, također treba držati pod predtlakom.

Operacije s teretom, kao što su pothlađivanje, grijanje, ukrcaj i iskrcaj, mogu utjecati na promjene tlaka u međuprostorima. Na promjenu tlaka također utječu i klimatske promjene i razlike u temperaturi između dana i noći.

Tlak u tankovima tereta održava se iznad atmosferskog na sljedeće načine: [1]

- izjednačavanjem tlaka između tankova koji sadrže iste terete
- cirkulacijom tekućeg tereta ili para, ili oboje, između tankova koji sadrže iste terete
- cirkulacijom tereta unutar tanka upotrebom pumpi tereta
- zagrijavanjem tereta.

### 3. UKAPLJENI PRIRODNI PLIN

Ukapljeni prirodni plin (*Liquified Natural Gas* – LNG) je pročišćeni zemni plin, rashlađivanjem pretvoren u tekuće stanje, radi lakšeg prijevoza. Rashlađuje se na oko -161 °C te tako postaje bistra tekućina bez boje, okusa i mirisa koja zauzima samo 1/600 volumena prirodnog plina u plinovitom stanju. To stanje je pogodno za transport u tankerima po cijelom svijetu. Gdje prijenos prirodnog plina cjevovodima nije moguć ili ekonomičan, može se prevoziti posebno dizajniranim LNG brodovima tj LNG tankerima. Tankeri za prijevoz LNG-a mogu biti dugi i preko 300 metara, a minimalna dubina vode mora biti više od 12 metara kada su potpuno puni. Također, ti tankeri moraju imati dvostruku oplatu i specijalno su dizajnirani da podnose niske temperature LNG-a.

Nakon primanja u terminalu, LNG se obično prebacuje u izolirane tankove specijalno konstruirane za spremanje LNG-a. Takvi tankovi moraju održavati nisku temperaturu tekućine i moraju minimizirati količinu isparenog plina. Isparivanje je obavezno jer bi u protivnom tlak i temperatura u tanku rasli. Temperatura unutar tanka će ostati nepromijenjena ako se tlak regulira ispuštanjem plinske pare. Ispušteni plin se može skupljati i koristiti kao gorivo u pogonu za pretovar i spremanje LNG-a. Iako tankovi plina mogu biti i na površini, najčešće su u upotrebi podzemni tankovi koji moraju zadovoljavati dvije osnovne karakteristike: moraju čuvati LNG za buduću upotrebu i moraju imati dobar sustav otpreme plina. Prirodni plin se često sprema u obliku LNG-a i u udaljenim postrojenjima, a ne samo na terminalima.

Prije eksploatacije energije iz LNG-a potrebno ga je zagrijati tako da postane upotrebljiv za kuhanje, grijanje te proizvodnju električne energije.

Najveći izvoznici ukapljenog prirodnog plina su zemlje koje imaju najveće rezerve tog plina. To su Alžir, Australija, Indonezija, Libija, Malezija, Nigerija, Oman i Katar. Trenutno u Europi ima 26 LNG terminala i većina ih posluje ispod kapaciteta te slabo zarađuju, no planira se izgradnja terminala i na otoku Krku. Najveća mana LNG terminala je njihova visoka cijena i zbog toga ga slabije razvijene države izbjegavaju.

Što se tiče zapaljivosti, LNG sam po sebi nije zapaljiv i kao takav ne može eksplodirati. Dokaz za to su brojni incidenti koji su se dogodili kao npr istjecanje LNG-a, oštećenja nastala vremenskim neprilikama, sudari na moru i slično, a da još nikad nije



eksplodirao tanker sa cijelim svojim sadržajem. S druge strane, rizici prilikom baratanja LNG-om potječu od tri njegove karakteristike, a to su: raspršenje, zapaljivost i proizvodi izuzetno niske temperature. Izuzetno hladan LNG može nanijeti direktne posljedice i prouzročiti štete. Oblak pare koji nastaje prilikom prolijevanja može nošem vjetrom dospjeti u naseljena područja, a ako je koncentracija plina između 5% i 15% onda je ta para vrlo lako zapaljiva. Vatra nastala na taj način daje izuzetno visoke temperature. Povoljna strana isparavanja LNG-a je to da se grije i da se para diže u zrak jer je stvorena plinska para lakša od zraka.

U svrhu unaprjeđivanja poimanja sigurnosti LNG-a napravljeno je puno modeliranja budućih katastrofa. Trenutno je kao mogući scenarij velike katastrofe najzanimljiviji terorizam. Amerika zbog toga ima strogo određena pravila za plovidbu tankera punih LPG-a; brzi brodovi prate i štite tanker prilikom uplovljavanja u terminal te prilikom istovara tereta. Prilikom plovidbe, tankeru se ne smiju približavati plovila na udaljenost manju od 450 metara sa svake strane te 3.2 kilometra ispred i iza broda. Za prekršitelje su predviđene visoke kazne, do 10 godina zatvora.

## 4. UKAPLJENI NAFTNI PLIN

Ukapljeni naftni plin (*Liquified Petroleum Gas* – *LPG*), također poznat kao propan - butan ili autoplín je mješavina ukapljenih ugljikovodika nastalih preradom nafte koji su u normalnom stanju plinovi, a pri povećanju tlaka prelaze u tekuće stanje. Ukapljeni naftni plin ima vrlo raširenu upotrebu, kao izvor energije u industriji i domaćinstvu, zatim i kao zamjena za skuplja goriva u automobilima, a u posljednje vrijeme zamjenjuje različite tipove freona npr. aerosol u raznim bocama pod pritiskom, da bi se izbjeglo oštećenje ozonskog omotača freonskim plinovima.

LPG se sastoji većinom od propana ( $C_3H_8$ ) ili butana ( $C_4H_{10}$ ), a najčešće je smjesa oba plina u kojoj se nalazi 75% butana i 25% propana. U manjim koncentracijama, u ukapljenom naftnom plinu su sadržani i neki drugi plinovi, npr propilen, butilen i ostali. [4]

Propan, spada u zasićene ugljikovodike, bezbojan je plin, pod tlakom je u ukapljenom stanju, nema specifičan miris, lako je zapaljiv i eksplozivan. Temperatura zapaljenja je  $-40^{\circ}C$ , a temperatura samozapaljenja je  $500^{\circ}C$ . Granica eksplozivnosti je od 2-10% što predstavlja veliku opasnost od eksplozije. Nije reaktivan s vodom.

Butan, kao i propan, spada u zasićene ugljikovodike, bezbojan je plin, pod tlakom je u ukapljenom stanju, lako je zapaljiv i eksplozivan. Razlikuje se od propana po svom slatunjavom mirisu. Temperatura zapaljenja je  $-20^{\circ}C$ , a temperatura samozapaljenja  $460^{\circ}C$ . Granica eksplozivnosti je od 1.8-8.4%. Opasnost od eksplozije je velika. Plin nije reaktivan s vodom.

Prilikom propuštanja, ukapljeni naftni plin predstavlja potencijalnu opasnost jer je bez boje i mirisa stoga se dodaju odoranti, npr. etan – etiol ili tetrahidrotiofen, tvari koji plinu daju miris i time olakšavaju otkrivanje propuštanja. Odorantima bi se trebalo otkriti istjecanje LPG-a pri udjelu od 20% donje granice eksplozivnosti (odnosno 0,1% udjela u zraku prostorije), a ne bi smjelo utjecati na uporabna svojstva.

LPG nije topiv u vodi, lakši je od vode i pliva na njezinoj površini te se zbog toga ne ubraja u tvari štetne za vodu. Nije otrovan, no ipak prevelik udio u zraku može izazvati gušenje. Izravno udisanje para je štetno jer izaziva narkotično djelovanje (uspavljuje). Najveći udio propana i butana u zraku prostorije je 0,1% (1000ppm). Ukoliko ukapljeni naftni plin dođe u dodir s kožom naglo isparava, a to može uzrokovati smrtonosne ozljede.

U tablici 2., prikazana su svojstva LPG-a.

<b>Svojstva LPG-a</b>		
<b>Kemijska formula</b>	<b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></b>	<b>C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>
Molarna masa	44,09	58,12
Specifična težina plina u odnosu na zrak (zrak = 1)	1,5	2,0
Specifična težina tekućine u odnosu na vodu (voda = 1)	0,510	0,575
Točka ključanja (°C)	-42	-0,5
Točka smrzavanja (°C)	-186	-150
Donja ogrijevna moć kapljevine kcal/kg	11 000	10 900
Donja ogrijevna moć kapljevine kJ/kg	46 000	45 600
Gornja ogrijevna moć kapljevine kcal/kg	11 900	11 800
Gornja ogrijevna moć kapljevine kJ/kg	49 800	49 400
Donja ogrijevna moć plina kcal/kg	22 600	29 000
Donja ogrijevna moć plina kJ/kg	94 600	121 300
Gornja ogrijevna moć plina kcal/kg	24 000	30 700
Gornja ogrijevna moć plina kJ/kg	100 400	128 500
Temperatura zapaljenja (°C)	450 – 500	420 – 490
Temperatura plamena (°C)	1 970	1 975
Kritični tlak (bar)	45,5	37,8

**Tablica 2. Svojstva LPG-a [1]**

Plinska boca od 10 kg plina ima ukupnu energetska vrijednost od 128,0 kWh.

Područje eksplozivnosti ukapljenog naftnoga plina je usko i u relativno niskim granicama, od oko 2% do 10%, stoga prostore u kojima se nalaze instalacije treba redovito prozračiti i označiti odgovarajućim oznakama tj natpisima. Miris odoriranog LPG-a je vrlo oštar i kada se osjeti u zatvorenom prostoru potrebno je odmah ugasiti svaki plamen, dobro prostoriju prozračiti te prekinuti dovod ventila na zapornim ventilima, pri čemu nije dozvoljeno paljenje ni gašenje svjetla, niti bilo kojeg drugog električnog uređaja ili potencijalnog izvora zapaljenja.

U prostorijama u kojima se nalazi bilo koje trošilo koje koristi LPG, treba omogućiti dovoljne količine zraka za izgaranje iz razloga što LPG pri izgaranju troši kisik i to može

prouzročiti njegov manjak s teškim posljedicama po život i zdravlje ljudi koji borave u tim prostorijama.

Kako je LPG teži od zraka i pada na tlo, tankove i boce se ne smije držati u prostorijama ispod razine okolnog tla i tamo gdje postoji opasnost od istjecanja i nakupljanja u kanalima.

Pušenje, kao i otvoreni plamen nisu dozvoljeni u blizini tankova, skladišta plinskih boca niti svih zatvorenih prostorija u kojima se nalaze instalacije. Također je važna napomena kako se moguće istjecanje iz instalacija ne smije provjeravati prinošenjem plamena.

Ukapljeni naftni plin se dobiva rafiniranjem sirove nafte u rafinerijama (oko 40%), ili izdvajanjem propana i butana iz prirodnog zemnog plina. Treba razlikovati dva stanja LPG-a: tekuće i plinovito. Uz navedena dva stanja može se napomenuti i ponašanje plina u zatvorenim tankovima i tada razlikujemo tri faze: tekuća, parna i plinovita faza. Pojam stanja je vezan uz agregatno stanje, a faze uz ponašanje plina u zatvorenom tanku pri određenim uvjetima. Za prelazak iz jedne faze u drugu, odnosno stanja, treba odvesti ili dovesti toplinu.

Što se tiče sastojaka ukapljenog plina, svi su plinovi u normalnom stanju, ali se s porastom tlaka pretvaraju u kapljevine. Tlak pri kojem se to događa direktno je ovisan o vrsti smjese; tako se čisti butan pretvara u kapljevinu pri 2.2 bara, dok je tlak potreban za ukapljivanje propana puno veći: 22 bara. Prilikom ukapljivanja se njihov volumen znatno smanjuje (do 270 puta). Upravo je to glavni razlog njegove izuzetne prihvatljivosti za uporabu – prevozi se i skladišti kao tekućina, a koristi kao plin. LPG ima veliku ogrijevnu moć, oko 44.4 MJ/kg, ali i vrlo nizak stupanj zagađenja okoline u odnosu na druga goriva slične ogrijevne moći i to ga također čini poželjnim energentom.

Kod prednosti LPG-a možemo izdvojiti: visoki stupanj korištenja (kod nekih postrojenja i do 95%), mogućnost kombinacije s ostalim gorivima, jednim energentom se pokriva većina energetske potrebe objekta – grijanje, zagrijavanje sanitarne vode, kuhanje i slične kućanske potrebe, lako održavanje i sigurno rukovanje instalacijom, opremom i trošilima te energija koju daje propan - nema pripremnih faza za korištenje energije, a to znači bez gubitaka.

Svojstva LPG-a se mijenjaju ovisno o količini plinova koji ga čine, unutar parametara navedenih u tablici i koji čine ekstremne slučajeve LPG-a, tj čiste plinove.

## 5. RAZLIKA IZMEĐU LNG I LPG PLINOVA

LPG i LNG su vrlo dostupni plinovi i imaju široku upotrebu u kućanstvima i poslovanju. Iako se upotrebljavaju uglavnom na isti način, također postoje i razlike između ove dvije vrste plinova. LPG (propan) i LNG (metan) imaju različite kemijske formule: metan ( $\text{CH}_4$ ), propan ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), nadalje propan je gušći od zraka dok je metan lakši. [5]

Postoje i dvije glavne razlike u načinu spaljivanja ukapljenog prirodnog i ukapljenog naftnog plina. Prva razlika je u energetsom sadržaju – LPG ima veći udio energije od prirodnog plina što znači da je potrebna manja količina LPG-a za proizvodnju iste količine topline. Druga razlika je omjer kisika i plina potreban za pravilno sagorijevanje. LPG zahtijeva omjer kisika i plina od približno 25 do 1, a prirodni plin omjer od oko 10 do 1. Da bi se postigla ta razlika, LPG se obično isporučuje u manjoj količini, ali pri višem tlaku, privlačeći tako više kisika u proces izgaranja.

## 6. RAZVOJ TANKERA ZA PRIJEVOZ UKAPLJENIH PLINOVA

Brodovi za prijevoz ukapljenih plinova se zajedno sa tankerima za prijevoz sirove nafte i naftnih derivata te sa specijalnim brodovima za prijevoz opasnih kemikalija u rasutom stanju smatraju u međunarodnom pomorstvu plovilima izrazito velike opasnosti.

Prvi transport ukapljenih plinova morem bio je u bocama pod tlakom učvršćenim na palubi broda. Prvi registrirani – namjensko sagrađeni brod bio je brod „Agnita“, konstruiran i sagrađen 1931. godine u *Swan Hunter* brodogradilištu u Engleskoj. [1]

Poslije Drugog svjetskog rata, prvi znatno veći brod, namijenjen prijevozu propana bio je „Nathalie O. Warren“ zapremnine 6 050 m<sup>3</sup>, sagrađen u „Betlehem Steel Company“ brodogradilištu u Beaumontu Texas, za Warren Petroleum Corporation.

Isto brodogradilište preuređuje brod za suhi teret i u njega ugrađuje 68 uspravnih cilindričnih posuda raspoređenih u 5 skladišta za teret. Dimenzije tanka za ukapljeni plin su se kretale između 7 i 14 m visine, te 2 i 4 m u promjeru. Tankovi su bili predviđeni da izdrže tlak od 17.6 bara.

Godine 1952. i 1953. brodogradilište „*Kieler Howakdstwerke*“ u Zapadnoj Njemačkoj izvodi slična preuređivanja brodova za prijevoz plina. Sve veća potreba za butanom i propanom je vodila prema razvoju specijalnih, malih tankera za prijevoz ukapljenog plina.

Prvi među njima koji je plovio za Sjevernu Europu je bio „*Rasmus Tholstrup*“, sagrađen u švedskom brodogradilištu „*Marstrands*“ 1953. godine za kompaniju „Trans Kosan“ u Kopenhagenu. Brod je bio nosivosti 1 042 m<sup>3</sup>, raspoređene u dvanaest uspravnih cilindričnih tankova i bio je prvi od 23 tankera za prijevoz ukapljenog naftnog plina, sagrađenih za dansku pomorsku kompaniju „Tholstrup“.

Početkom 60-ih godina i japanska brodogradnja se sve više posvećuje izgradnji LPG tankera i tako već do 1970. godine isporučuje raznim brodovlasnicima 132 tankera za prijevoz ukapljenog naftnog plina.

U 1982. godini su bila izgrađena 162 broda za prijevoz tekućeg plina preko 20 000 m<sup>3</sup> s ukupnim kapacitetom od 12 925 000 m<sup>3</sup>. Veća količina u međunarodnoj trgovini sa LPG prevezena je brodovima koji imaju kapacitet veći od 25 000 m<sup>3</sup>, međutim, za znatne količine

osnovnih petrokemijskih proizvoda koje su prevezene u međunarodnoj trgovini su se koristili brodovi kapaciteta do 15 000 m<sup>3</sup>.

## 7. TLAČNI BRODOVI

„Tlačni brodovi“ se mogu podijeliti na tankere koji su potpuno pod tlakom i tankere pod polu tlakom (polurashlađene). U praksi se koristi naziv „tlačni brod“ za opis tankera za prijevoz LPG-a koji su potpuno pod tlakom i „polurashlađeni brod“ za opis tankera koji su polu pod tlakom tj brodova za prijevoz polurashlađenih plinova.

„Tlačni brodovi“ su najjednostavnija plovila, prva izgrađena za prijevoz LPG-a, a teret se na njima prevozi u nekoliko cilindričnih tlačnih posuda (tankova tereta), koje mogu podnijeti maksimalni tlak. Ovi tankeri moraju biti osposobljeni za ukrcaj, prijevoz i iskrcaj tereta, također i za čišćenje od plina ili mijenjanje tereta koji se prevozi.

Na tankerima, u prostoru ispod palube, nisu dozvoljene nikakve aktivnosti koje bi mogle prouzročiti curenje ili isparavanje ukapljenih plinova pa je potrebno poduzeti posebne mjere kako bi se ispunio ovaj zahtjev. To znači da vodovi za ukrcaj i iskrcaj tekućine moraju prodrijeti kroz tank koji se proteže kroz palubu.

Da bi se ukapljeni plin „tjerao“ od dna tanka pa do pumpe za usisavanje, instalirani su kompresori koji uzimanjem pare iz tanka, tlače tank kako bi plin došao do navedene pumpe. Stoga takav tanker mora biti opskrbljen: [2]

- snažnim tankovima (u njih se teret ukrcava)
- vodom za tekućine (proteže se od vrha tankova za teret do dna i kroz njega se tekući plin ukrcava i iskrca)
- kompresorima
- linijom za paru (proteže se od vrha tankova za teret, a koriste je kompresori za tlačenje tereta u tankovima)
- pumpama za teret
- tekućim cjevovodima (ovim cjevovodima su povezane linije za ukrcaj i iskrcaj tekućina s obale s brodskim linijskim sistemom).

Glavna prednost brodova za prijevoz polurashlađenih (polu pod tlakom) tekućina je u tome što tankovi za teret ne trebaju biti toliko jaki jer je tlak tereta znatno smanjen snižavanjem temperature. Kao rezultat dobivene su sljedeće prednosti:

- više tereta se može prevoziti u tanku istog kapaciteta

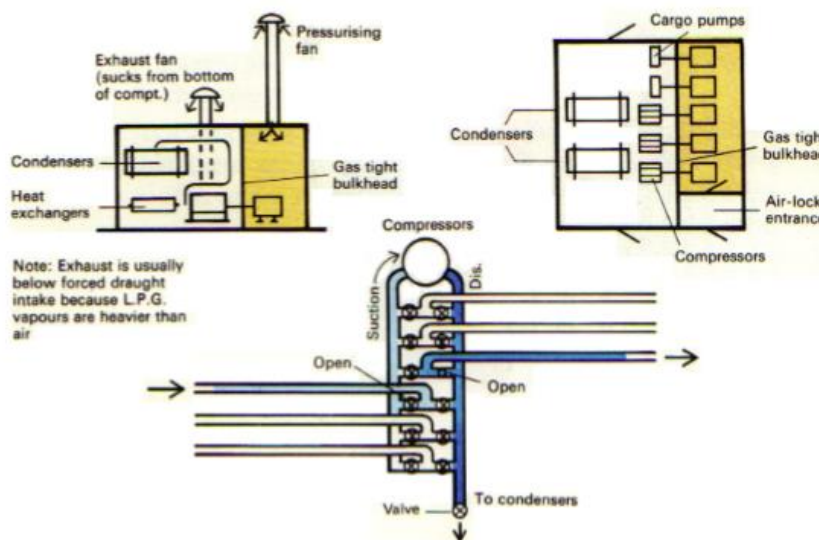


- tank istog kapaciteta je lakši i jeftiniji za izgradnju
- mogućnost gradnje većih i ekonomičnijih tankova.

„Tlačni brodovi“ obično variraju od onih izrazito malih kapaciteta pa do brodova kapaciteta do 2 000 kubičnih metara. Kapacitet brodova za prijevoz tekućina u polurashlađenom stanju varira između 1 000 i 10 000 kubičnih metara. Teret u tankovima se obično održava procesom hlađenja na temperaturi od 0°C, a tankovi su termički izolirani.

Postupci s ukrcajem i iskrcajem su općenito slični kod oba tipa, glavna razlika je kod brodova za prijevoz polurashlađenih tekućina kojemu se dodaje postrojenje za hlađenje tereta na putovanju i pod određenim okolnostima za pomoć pri utovaru.

Na većini plovila oba tipa, oprema za rukovanje teretom se nalazi na palubi koja je podijeljena na dva odijeljka pomoću plinovite pregrade. Na jednoj polovici palube se nalaze električni motori za pogon kompresora i pumpi, koji su odvojeno smješteni u drugom odijeljku, a pogonske osovine prolaze kroz plinovitu pregradu preko nepropusnih brtvi. Na slici 1., prikazan je prolaz osovine kroz plinovitu pregradu preko nepropusnih brtvi.



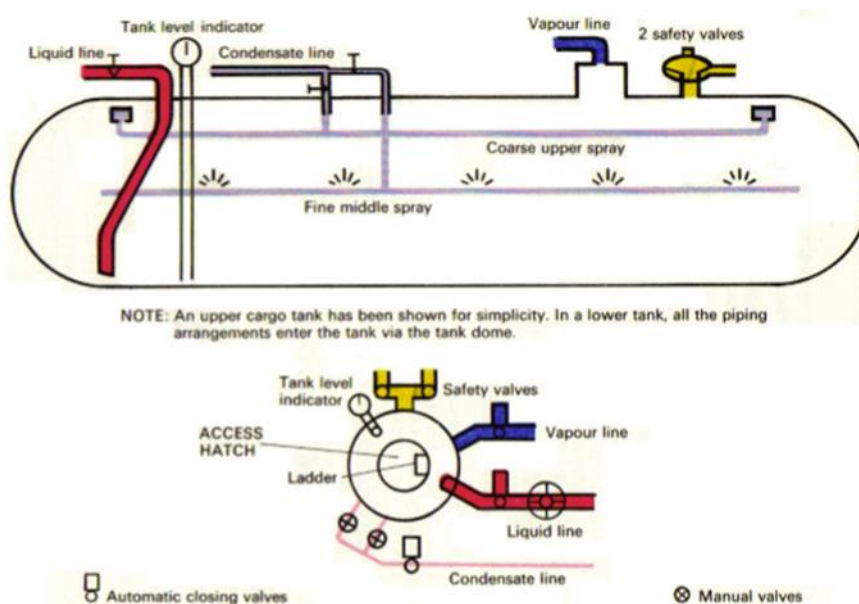
**Slika 1. Prolaz osovine kroz plinovitu pregradu preko nepropusnih brtvi [2]**

Motorna soba se drži pod tlakom zraka kojeg osiguravaju ventilatori velike snage da bi se isključila mogućnost ulaska plina i tako izbjegla mogućnost požara.

Tankovi se obično prazne po dva u isto vrijeme puštanjem tekućeg plina do pumpi za usis, gdje se tlak iskrcavanja znatno povećava zbog pumpi.

## 7.1. OPĆA NAČELA MANIPULACIJE TERETOM

Sistem rukovanja teretom, kod brodova za prijevoz polurashlađenih tekućina se sastoji od cilindričnih tankova koji moraju biti dovoljno snažni da podnesu maksimalni tlak tereta koji se prevozi na maksimalnoj predviđenoj temperaturi. Ako se, iz bilo kakvog razloga, tlak podigne preko dozvoljene granice, tada se sigurnosni ventili podižu i oslobađa se višak tlaka. Na slici 2., prikazan je raspored cijevi u tanku tereta koji se sastoji od: [2]



**Slika 2. Raspored cijevi u tanku tereta**

- *cijevi za tekućinu* kroz koju se krca ili prazni tekući plin, a koja vodi do dna tanka
- *voda za paru* kroz koju se para povlači od vrha tanka i vodi do kompresora
- *prskalice za kondenzat* koja ima višestruku funkciju:
  - a) Povrata kondenzata iz kondenzatora u tank dok se hladi (vraćeni se kondenzat obično raspršuje u tank kroz gornji raspršivač).
  - b) Vodene pare povezane s izlaznom stranom kompresora kroz koju se tank može tlačiti u svrhu pražnjenja.
  - c) Prskalice za smanjenje tlaka kod krcanja (primjećuje se da postoje dvije linije za prskanje; gornji raspršivač koji je grublji te prilično finiji srednji raspršivač). Rupe koje se nalaze u srednjoj raspršivačkoj cijevi su usmjerene

prema gore, a srednja linija za raspršivanje se koristi za prefiltriranje tanka kada se namjerava krcati vrlo hladni teret.

- *linije* koja vodi na jarbol i na koju se paralelno postavljaju najmanje 2 sigurnosna ventila kako bi se smanjio višak tlaka od tanka do jarbola.

Opća je svrha manipulacije osiguravanje ukrcaja i iskrcaja, hlađenja tereta na putovanju i oslobađanje sustava od plina, bilo na suhom vezu ili kada je odlučeno o promjeni tereta kojega se prevozi pa je brod opremljen kompresorima, pumpama za teret, kondenzatorima i izmjenjivačima topline.

#### **7.1.1. Ukrcaj , iskrcaj, hlađenje tereta i čišćenje od plina**

Ukrcaj se obavlja preko cijevi za tekućinu počevši od dna tanka tereta. Kako se svaki tank ispunjava, para koja je zarobljena u prostoru iznad dolazeće tekućine je komprimirana i postaje prezasićena te kondenzira. Međutim, da bi se kondenzirala, mora se kondenzirati na nešto – obično tank, ali, osobito u posljednjim fazama punjenja tanka kada se prostor iznad tekućine brzo smanjuje, brzina kondenzacije možda neće biti u skladu s brzinom kompresije i zbog toga tlak zraka u tanku počinje brzo rasti. To povećanje tlaka se može ublažiti raspršivanjem tekućine u tank pomoću prskalice koja osigurava mnoštvo malih kapljica i znatno povećava površinu na temelju koje se prezasićena para može kondenzirati ili se ublažava hlađenjem. U slučaju da sve navedeno ne uspije, uobičajeni uzrok je neočekivana prisutnost plinova koji se ne mogu ukapljiti i višak tlaka se može preusmjeriti u drugi tank.

Za iskrcaj tereta s broda, jedan ili više kompresora započinje s radom i tank kojeg je potrebno isprazniti se tlači ispuštanjem pare od drugog tanka kojega se ne prazni. Para se „šalje“ preko voda za kondenzate, do tanka kojeg je potrebno isprazniti sve do pumpe za teret. Kada tanker doplovi i zbog pritiska je tlak na pumpi za usis povećan, pumpa se pokreće. Kada pumpa započne sa radom, tlak na usisavanje pumpe se smanjuje. Ako postoji rizik da tlak na pumpi padne ispod vrijednosti S.V.P. (tlaka zasićene pare) od proizvoda koji se ispušta, rad crpke mora biti usporen. [2] Ako tlak na usisnoj pumpi padne ispod S.V.P., tekućina u pumpi „bljeska“ (isparava), a ispuštanje tekućine iz pumpe se blokira. Tijekom pražnjenja, para u tanku koja je pod tlakom zbog operacije pražnjenja, biti će prezasićena tako da se kondenzacija kontinuirano održava. Osloboditi će se toplina, a teret će se stalno grijati. Srećom, učinak grijanja uslijed oslobađanja topline kondenzacije zagrijava vrh tekućine u tanku, a kao što će težina grijane tekućine biti manja od one hladnijeg tereta, topla tekućina će teže plutati na vrhu i neće se prenositi tako da formira toplinsku barijeru debljine oko 30

centimetara. Bez obzira na navedeno, temperatura tereta se treba promatrati prije nego što uđe u usisnik crpke.

Ako je na ispusnom terminalu predviđena linija za povrat pare, tada se para od obale može koristiti za tlačjenje tankova koji se prazne umjesto da se uzima para iz tankova koji se ne prazne.

Kada je teret potrebno ohladiti, para se povlači od vrha tanka koji se hladi, komprimira, kondenzira i vraća kao tekućina kroz kondenzatni vod u isti tank. Povlačenje pare iz tanka koji se hladi smanjuje tlak pare ispod S.V.P. tekućine u tanku. Kao rezultat toga, tekućina unutar tanka ključa kako bi zamijenila povučenu paru, toplina se smanjuje i tekućina u tanku se ohladi. Povučena para će biti otprilike na temperaturi tanka i usisana je kroz izmjenjivač topline koji također reagira kao tekuća zamka. Neophodno je da nikakva tekućina ne ulazi u proces usisavanja kondenzatora jer bi se zbog kompresijskog udara moglo oštetiti kompresor kada ventil iznenada udari u tekućinu. Iz izmjenjivača topline, para dolazi do kompresora, komprimira se i ispušta u kondenzator gdje se kondenzira. Zbog adijabatskog porasta temperature zbog kompresije, temperatura ispuštene pare je obično između 100°C i 130°C i nedovoljno je zasićena. Kada prolazi u kondenzator, rashlađena voda (morska voda) najprije uklanja „osjetnu toplinu“ iz vruće pare dok ne postane prezasićena. Kada postane prezasićena, para se kondenzira i predaje latentnu toplinu. Rashlađena voda se zagrijava predajom osjetljive i latentne topline i zatim ispušta da bi se mogla neprekidno zamijeniti svježom hladnom vodom koja se opskrbljuje preko kondenzacijske pumpe (obično smještene u strojarnici). Rezultirajući kondenzat će biti na temperaturi nešto iznad temperature mora. (Zapravo će njegova temperatura odgovarati tlaku kondenzatora, ali to zauzvrat utječe na učinkovitost rashladnog sredstva.) Kondenzat zatim prolazi kroz brojne cijevi unutar izmjenjivača topline gdje se hladi od dolazeće hladne pare koja se povlači iz tanka i koju kondenzat zagrijava. Nakon toga, hladni kondenzat se vraća u tank koji se hladi preko upravljačkog ventila. Moguće je ohladiti teret tako da se para ispusti na jarbol, ili, kao u slučaju prijevoza metana, spaliti plin u brodskim kotlovima.

Ukapljivanje pare je sustav za oporavak proizvoda. Rashlađivanje se odvija unutar tankova i ukapljivanje je bitan dio procesa. Međutim, u praksi, ukapljivanje je toliko usko povezano s hlađenjem da se pojam „rashlađivanje“ često koristi umjesto pojma ukapljivanja.

Prvi korak u čišćenju plina s broda je izbaciti sav trag tekućine iz tankova, cjevovoda, pumpi i kondenzatora purgiranjem preko bočne strane. Kada se obavi izbacivanje tekućine,

koriste se kompresori za stvaranje vakuuma u tankovima tereta, vodovima, kondenzatorima i slično, nakon čega se vakuum prekida da bi zrak ušao u tankove. Tankovi se potom ispiru zrakom sve dok svaki tank na eksploziometru ne pokaže da je bez plina. Tada se stvara drugi vakuum i cijeli sustav se ponovno prazni. Nakon toga se postupak ponavlja nakon čega se brod može smatrati sigurnim.

## **7.2. VOĐENJE OPERACIJA S TERETOM**

### **7.2.1. Polurashlađeni teret**

Sve se operacije s teretom moraju provoditi u okviru ranije opisanih općih načela, a mogu biti: [2]

- operacija ukrcaja
- operacija iskrcaja
- operacija rashlađivanja tereta
- operacija čišćenja od plina

Operacije rukovanja teretom spadaju u dvije glavne kategorije: polurashlađene i potpuno rashlađene na atmosferskom tlaku.

Operacija *ukrcaja* tereta na brod vrlo je usko povezana s općim načelima. Crijevo za punjenje na obali, i, ako je dostupno, crijevo za povrat pare, povezani su s priključcima za tekućine i paru na teretnom razvodniku. Ukrcaj tekućeg tereta se obavlja kroz liniju za tekućine. Kada brod stigne na terminal za ukrcaj, tankovii bi trebali biti:

- prazni, ali pod pritiskom od pare iz prethodnog tereta (pod plinom)
- bez plina, ali pod maksimalno dopuštenim vakuumom (cca 80%)

Ako su tankovi tereta puni pare pod odgovarajućim tlakom (plinoviti), ukrcaj može započeti odjednom.

Kada tekućina ulazi u tank, para koja je zarobljena u prostoru iznad tekućine će se stlačiti, postati prezasićena i kondenzirana. Ako je tank opskrbljen linijom za povrat pare, svaki se višak tlaka može vratiti na kopno. Ako tank nije opskrbljen linijom za povrat pare, tlak se može ublažiti na sljedeće načine: prvo, sprejanjem dijela tereta u tanku, drugo,

hlađenjem, i treće, ako prethodna dva načina ne uspiju, dopuštajući da višak tlaka „pobjegne“ u drugi tank.

Ipak, nije preporučljivo da se sav teret ukrca sprejanjem, sprejevi se trebaju koristiti samo u svrhu omogućavanja veće površine na kojoj se kondenzira prezasićena para.

U drugom slučaju, kada brod stigne bez plina i kada mu je vakuum ispod 80%, prvi korak je ukloniti vakuum s parom uzetom s obale i podići tlak unutar tankova na odgovarajuću razinu. Postupak je jednostavan ako je osigurana linija za povrat pare, a ako linija nije osigurana, tankovi s teretom mogu isparavati korištenjem isparivača ili raspršivanjem vrlo malo tekućine u tank na način da kapljice tekućine isparavaju prije nego što uđu u kontakt sa tankom.

Obično se kod ukrcaja prvo krcaju donji tankovi i nakon toga se krcaju gornji tankovi. Brzina ukrcaja ovisi o promjeru linija za tekućine i broju otvorenih ventila. Potrebno je vršiti redovite provjere i ispitivanja da bi se ustanovila stopa ukrcavanja i da bi se osiguralo da tekućina ne ulazi u tank koji je završen ili nije pokrenut.

Da bi se ukrcao izrazito topli teret iz spremišta (koji je potpuno pod tlakom na temperaturi okoline) u poluhladan brod, mora se pokrenuti oprema za ukapljivanje i postaviti na maksimalnu brzinu da bi odmah pri ukrcaju počelo s hlađenjem tereta.

Kod *iskrcaja* se bilježe tlakovi u tankovima u vrijeme dolaska broda na iskrcajni vez. Ako se teret hladio za vrijeme putovanja, tekućina u linijama palube može biti na mnogo višoj temperaturi od tereta u tanku. Najpraktičniji način da se teret ohladi u liniji palube je da se otvori ventil jednog od tankova. Pad tlaka u liniji palube uzrokuje prokuhavanje tekućine koja se nalazi u toj liniji i korištenje latentne topine dok temperatura ne padne na istu razinu kao temperatura tekućine u tanku. Dok se cijev za iskrcaj i linija za povrat pare spajaju s teretnim razvodnikom, tlak i temperaturu provjeravaju i bilježe primatelji tereta. Kada je sve spremno, jedan ili više kompresora se pokreće i stavlja se pod tlak prve tankove koji će se iskrcati (obično dva gornja). Ventili tankova i ventil za usis se otvaraju, a tekućina u tankovima ide prema pumpi za usis. Bilo koja para zarobljena u tekućoj liniji se pušta do jarbola kroz pumpu sve dok se pumpa ne napuni tekućinom. Kada je tlak na pumpi za usis oko jednog bara iznad S.V.P. proizvoda u tankovima, otvara se ventil za iskrcaj na teretnom razvodniku i brod je spreman za iskrcaj. Pumpa se pokreće zatvorenim ventilom za pražnjenje. Kako se tlak na

ispušnoj strani crpke nakuplja, ispusni ventil se polako otvara i brzina se pumpe polako povećava te se na početku se mogu očekivati zrnca od vruće tekućine i pare.

Povremeno je vrlo teško teret usmjeriti na obalu. Sve ide ispravno do trenutka kada se otvara ventil za iskrcaj kada se pumpa ispusti. To se obično događa zbog vrlo visokog povratnog tlaka na kopnu u kombinaciji s velikom količinom para koja se nalazi u liniji za iskrcavanje na obalu.

Tankovi se prazne različitim tlakom koristeći kompresore obično u jednom od gornjih tankova. Iz tog razloga, tank odabran za primanje odljeva iz drugih tankova nije potpuno ispražnjen. Zatim se taj tank koristi kao jedan od izvora pare iz kojih kompresori izvlače paru kako bi se tlačni tankovi iskrcavali tako da se drže hladnim i pod niskim tlakom što olakšava prijenos drenaža.

Kada je riječ o *rashlađivanju* tereta, nakon što se osigura da voda prolazi kroz kondenzator i da nema tekućine u izmjenjivaču topline, linije za paru se postavljaju da usisavaju paru iz tankova za hlađenje radi ispuštanja u kondenzator. Ako se sumnja na prisutnost plinova koji se ne mogu ukapati, bilo koji višak tlaka u kondenzatoru mora odmah biti oslobođen jarbolom preko razdvajaa. Ako ne dođe do iznenadnog nakupljanja tlaka u kondenzatoru i stvaranja tekućih oblika, obično je dovoljno dopustiti materijalima koji se ne mogu ukapati da cirkuliraju natrag u tank ostavljajući blago otvoren nepropusni ventil za cirkulaciju. Kada se tlak kondenzatora stabilizirao, tekućina počinje puniti kondenzator. Izlazni ventil kondenzatora podešen je na „automatski“ način. Kondenzat će se zatim početi vraćati u tank koji se hladi preko linije kondenzata. Ako tijekom procesa hlađenja uđu u kondenzator plinovi koji se ne mogu ukapati, to je vidljivo u porastu tlaka kondenzatora i padu proizvodnje kondenzata. Prekomjerni tlak koji nastaje zbog prisutnosti plinova koji se ne mogu ukapati mora se popraviti na jarbolu.

Na plovilu sposobnom za polurashlađivanje i potpuno hlađenje, normalno je da kondenzator sadrži dva tekuća izlazna ventila, a svaki od njih kontrolira isti regulator. Ovi izlazni ventili imaju dvije različite veličine; veliki koji se koristi kod polurashlađivanja i manji kod hlađenja koji sadrži dvije faze. To je zato što se puno više kondenzata stvara s relativno visokim usisnim tlakom (polurashlađivanje) nego s niskim usisnim tlakom (dvostupanjski) jer iako je volumen koji prolazi kompresorom konstanta, ako je usisni tlak veći, prolazi veća količina pare.

Kod operacije *uklanjanja opasnih i eksplozivnih plinova iz unutrašnjosti tankova*, prvi korak je provjeriti jesu li kondenzatori prazni od tekućine. Zatim se fleksibilno crijevo postavlja preko krmne spojeno na krmenu liniju za tekućine. Cilj drugog koraka je osloboditi brod od svih preostalih tekućina koje se nalaze u tankovima, crpkama, tekućim linijama itd. To se može učiniti na dva načina. Ako postoji dovoljan tlak pare u brodu, najbrže je otvoriti sve ventile za usisavanje, ventile za izolaciju tereta, ventile u tekućoj liniji i ventile za tankove tereta i dopustiti tlaku u tankovima da „ispuhnu“ sve preostale tekućine na brodu preko krmne. Ako nema dovoljno tlaka u tankovima, tada se mora koristiti druga metoda. U ovoj metodi se tankovi tereta zagrijavaju pomoću kompresora da bi cirkulirajući paru povlačenjem s gornjih dijelova tankova i ispuštanjem je u liniju za tekućine, vratili paru na dno istih tankova. Para se zagrijava prolaskom kroz kompresore, a topla para isparava malu količinu tekućine koja ostaje na dnu tankova tereta.

Budući da je para od LPG-a teža od zraka, kompresori koji usisavaju zrak iz atmosfere putem priključka za paru na teretnom razvodniku, ispuštaju paru na vrh tankova tereta i ispiru LPG paru s dna preko linije za tekućine. Dobro je otvoriti kondenzatorske ventile tako da dio zraka struji kroz kondenzatore i tako uklanja štetne plinove. Na početku ove operacije, dio vodene pare između razdjeljivača i usisivača kompresora, sadržavati će mješavinu plina i zraka koja će morati proći kroz kompresor. Vrlo je važno da se ta smjesa slobodno ispusti i ne podvrgne kompresiji. Suženost kompresora pri ispuštanju uzrokuje nakupljanje tlaka i izračunato je da je pri tlaku od 14 bara adijabatsko povećanje temperature zbog kompresije jednako zapaljenju temperature LPG plinova te je u kombinaciji s „flash backom“ u kondenzatoru moguća izrazito jaka eksplozija. [2] Nakon što su tankovi ispražnjeni, svaki od njih je potrebno odvojeno prozračiti. Kada svaki tank naizmjenice pokazuje da je bez plina stvara se drugi vakuum, vakuum se zatim prekida, tankovi se ponovno prazne i stvara se treći vakuum kada je brod bez plina. Drugi i treći vakuumi su stvoreni kako bi se smanjila jačina bilo koje mješavine plina i zraka koja „vreba“ i koja je pobjegla od raspršivanja tijekom operacija ispiranja. Iako je brod bez plina, svakodnevno se prozračuje kako bi se raspršile koncentracije plina koje se formiraju u dnu tankova zbog taloženja. U slučaju amonijaka stvaraju se vakuumi i slamaju uzastopno. Prvi vakuum smanjuje smjesu pare i zraka na 30% što je prebogato. Drugi vakuum smanjuje koncentraciju amonijaka na 9%, što je preslabo da bi uzrokovalo eksploziju. Tankovi se potom zrače usisavanjem s vrha tankova dopuštajući da zrak ulazi u njih s dna preko linije za tekućine kroz otvaranje ventila za tekućine na teretnom razvodniku. Vakuumi se mogu stvoriti i slomiti, a tankovi se mogu ventilirati samo pomoću



ovog ventila bez zaustavljanja kompresora. Ova se ventilacija tankova nastavlja sve dok koncentracija amonijaka u atmosferi tankova nije ispod 100 ppm. Takva niska koncentracija, koja se vrlo lako može namirisati, može se mjeriti samo kristalima koji kemijski mijenjaju boju. Tada su stvorena i slomljena dva nova vakuuma, a tankovi su prozračeni iz istih razloga što su dati za oslobađanje plina iz LPG-a, ali s amonijakom, zbog kontaminiranog utjecaja na druge terete, brodari LPG tereta zahtijevaju gotovo totalnu odsutnost para amonijaka – u području od 5 do 20 ppm.

### **7.2.2. Potpuno rashlađeni teret pri atmosferskom tlaku**

Operacija *krcanja* sadrži dva dijela; pred-hlađenje i zatim punjenje. Postupak za brod koji stiže na terminal za ukrcaj pod vakuumom ili za uzastopni teret je isti, osim što će, kada dolazi pod vakuumom, tankovi biti topli i postupak hlađenja će trajati duže. Tankovi moraju biti ohlađeni prije ukrcaja jer se smanjuju tijekom procesa hlađenja, a taj se proces smanjivanja mora obaviti dok su tankovi prazni. Dok se smanjuje, tankovi se moraju pomicati u nosivim kolijevkama i kako bi se izbjeglo nepotrebno naprezanje na sustavu podrške tanku dok se to kretanje odvija, tankovi ne bi trebali imati težinu u njima. Također se moraju hladiti ravnomjerno i polako. Za hlađenje tankova prije ukrcaja, tekućina preuzeta s obale je prskana u tankove preko linije raspršivanja. Rupe u ovoj raspršivačkoj liniji su usmjerene prema gore tako da ne bi došlo do njihovog začepljenja, a kapljice tekućine koje se kreću prema gore, a zatim prema dolje imaju više vremena za isparavanje nego što bi to bio slučaj da su rupe usmjerene prema dolje. Plinovi koji se ne mogu ukapati predstavljaju isti problem kao što je prethodno opisano kod ukrcaja polurashlađenih tereta. Postupak prskanja se nastavlja dok se tekućina čvrsto ne stacionira na dno tankova. Grubi se sprejevi na vrhu tankova ne bi smjeli koristiti u svrhu hlađenja zbog kapljica tekućine koje povećavanjem neće moći jednostavno isparavati i tekućina će se brzo taložiti na dnu tankova i tako prouzročiti neujednačeno hlađenje i stvoriti hladnu barijeru na dnu tankova.

S teretom izrazito niske temperature, linije za tekućinu na palubi se moraju ohladiti prije *iskrcaja* na isti način kao kod hlađenja polurashlađenog tereta.

Da bi pražnjenje započelo, prvi tank ili prvi par tankova je pod tlakom, a iskrcaj započinje na isti način kao iskrcaj polurashlađenog tereta. Ako se ne raspolaže linijom za povrat pare, dostupni isparivač može biti neadekvatan da bi teret iz tanka bio ispušten pod tlakom i ako se to dogodi, isparivač se mora staviti u rad da dopuni rad kompresora. Isparivač

proizvodi velike količine pare čija temperatura određuje tlak u isparivaču koji je nešto veći od onog u tankovima koji su pod tlakom.

Zbog učinka grijanja pod tlakom i ograničene količine pare koja je dostupna da bi se tankovi ispuštali pod tlakom, obično je potrebno isprazniti najprije veće donje tankove na pola, a zatim, pomoću tanka pod parom koji služi kao izvor pare, tlačiti drugi red tankova i isprazniti ih do pola. Iako se tank kojeg se iskrcava zagrijava kondenzacijom, tankovi koji se koriste kao izvor pare se hlade.

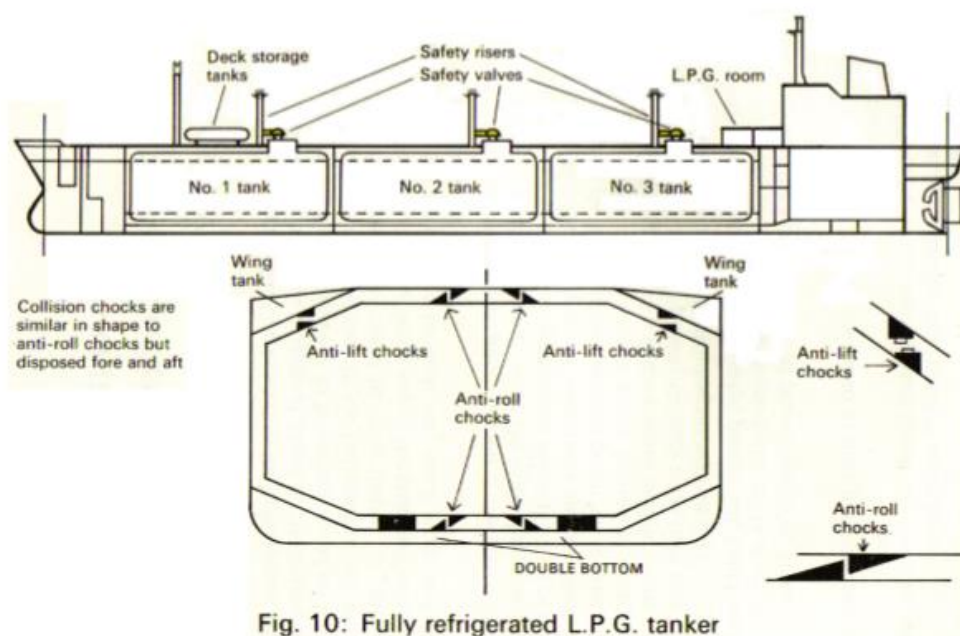
Da bi teret bio što je moguće hladniji tijekom pražnjenja, opće je pravilo da se uzima para iz tankova, koji se ne iskrcavaju dok je to moguće, s obale ili da se koristi isparivač što je manje moguće.

Kod ukapavanja plinova koje se obavlja u *dvije faze*, jedan ili više kompresora u prvoj fazi ispušta paru u izmjenjivač topline kompresora od druge faze što dodatno podiže tlak i ispušta u kondenzator gdje se para kondenzira i vraća u tank kao tekućina koja se hladi na uobičajen način.

Ako je para koja dolazi iz tanka koji se hladi vrlo hladna, mora se zagrijati, a to se obavlja uzimanjem nekih od vrućih plinova koji se ispuštaju od kompresora prve faze i zatim unošenjem u unutarnje cijevi izmjenjivača topline koji je pod tlakom zbog iskrcaja. Oni se ukapljuju i vraćaju u tank preko linije kondenzata.

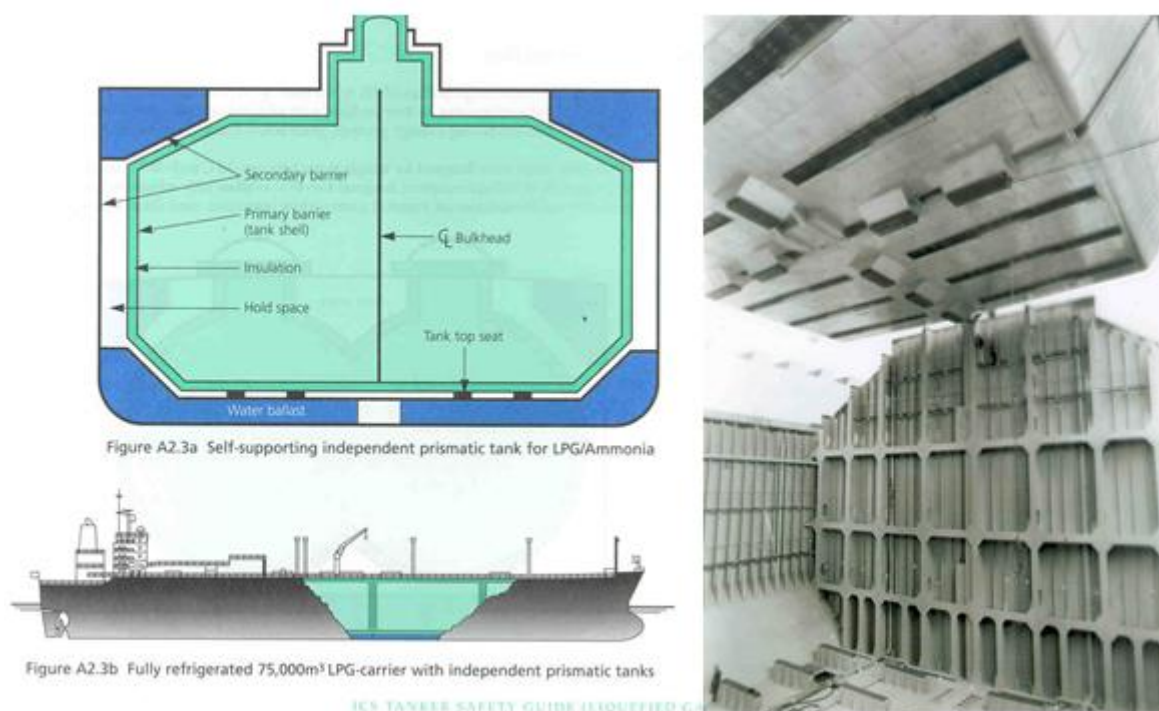
## 8. POTPUNO RASHLAĐENI BRODOVI

Povećanje veličine brodova za prijevoz ukapljenih plinova dovelo je do razvoja potpuno rashlađenih brodova koji prevoze svoje terete pri atmosferskom tlaku. Budući da tankovi u koje se krca teret neće biti izloženi visokom tlaku, kao što je to slučaj kod polurashlađenih brodova, trebali bi biti „kutijastog oblika“ radi boljeg iskorištavanja prostora. Uz to, tankovi bi trebali biti veći. Na slici 3., prikazan je potpuno rashlađeni LPG tanker.



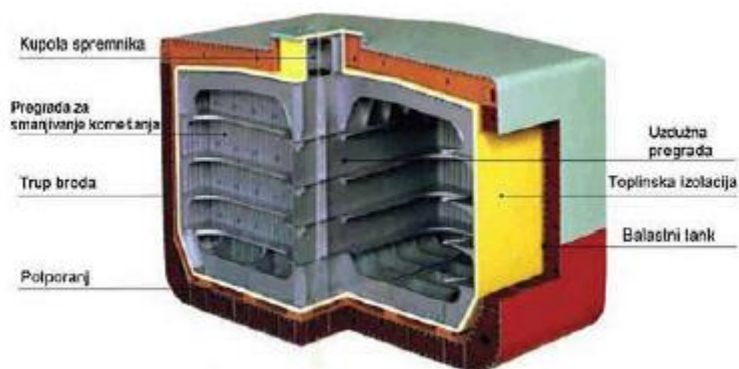
**Slika 3. Potpuno rashlađeni LPG tanker [2]**

Na slici 4., prikazan je sustav sa samonosivim prizmatičnim tankovima.



**Slika 4. Sustav sa samonosivim prizmatičnim tankovima**

Na slici 5., prikazan je presjek prizmatičnog tanka tipa B.



**Slika 5. Presjek prizmatičnog tanka tipa B**

Da bi teret došao do pumpe za usis treba biti dizajniran novi sustav, sustav uronjene pumpe s dugom osovinom (dubinska pumpa). Sama pumpa nalazi se na dnu tanka i povezana je dugim pogonskim osovinama na električni motor koji je izoliran od plamena i koji se nalazi

na vrhu tanka, a osovina prolazi kroz nepropusnu brtvu i ulazi u vrh rezervara. Dubinska pumpa opskrbljuje glavne pumpe tekućinom i ove pumpe podižu tlak i šalju teret na obalu.

Tipični brod za prijevoz potpuno rashlađenog tereta treba imati 3 ili 4 glavna tanka za teret od kojih je svaki konstruiran s izbočenom kupolom kroz koju prolaze sve cijevi, pogonske osovine, uređaji za mjerenje, priključci i slično. Svaki tank je opremljen s poprečnim pločama, koji mu daju dodatnu čvrstoću i također smanjuju pomicanje tereta kod posrtanja broda i uzdužnom pregradom koja dijeli svaki tank na dva dijela tako da jedan tank postaje dva, ali sa zajedničkim prostorom za isparavanje na vrhu. Svaki par tankova postavljen je u zasebno skladište, ili prostor za zadržavanje, kao što se tankovi nazivaju. Sustav za potporu tankova je dizajniran tako da se tankovi mogu pomicati u određenoj mjeri kako bi se omogućio lagani progib trupa kada brod plovi, a isto tako da se omogući tankovima širenje u skladu s temperaturom na kojoj se tereti prevoze. Ove se potpore postavljaju na čvrste podove i kobilice. Također su ugrađeni nosači protiv okretanja, podnožja protiv sudara i podizne čahure.

Kao dodatna mjera sigurnosti, prostor koji okružuje tankove tereta na prostoru za zadržavanje je inertan, stoga, osim ako se ne probije trup, nema opasnosti od požara ili eksplozije u prostoru za zadržavanje, čak i ako iz tanka curi tekućina, plin ostaje u ovom prostoru.

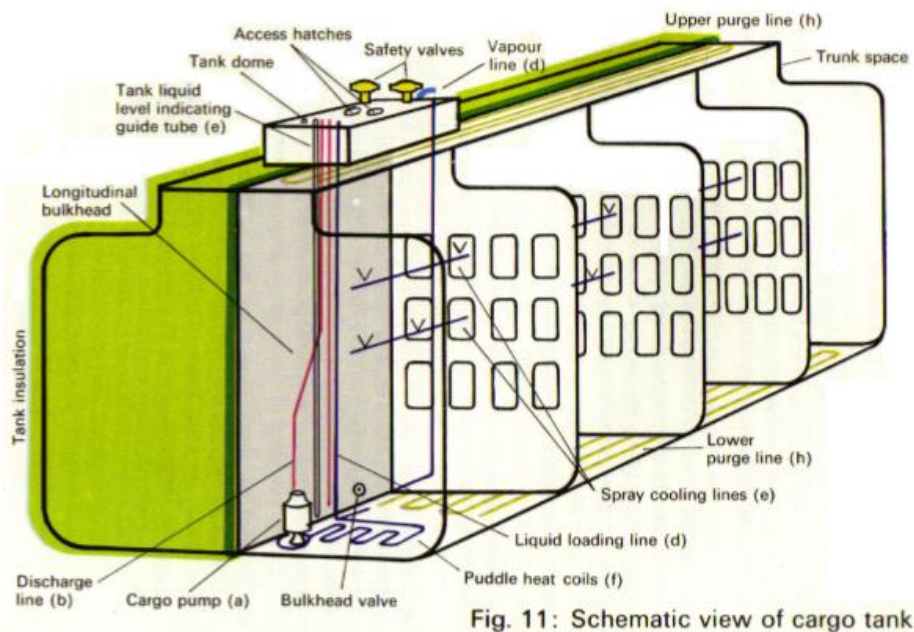
Tankovi su izgrađeni od posebnog čelika niske temperature. Mogu se graditi u različitim oblicima kako bi se maksimalno iskoristilo raspoloživi prostor u prostoru za zadržavanje u kojemu se grade. Svaki je tank podijeljen u dva dijela uzdužnom pregradom kako bi se smanjio efekt slobodne površine i pojačan je poprečno pomoću brojnih ploča koje također smanjuju efekt pomicanja tekućine u tanku dok brod plovi. Na dnu uzdužne pregrade je poprečni ventil koji, kada je otvoren, omogućuje ispumpavanje tanka samo pomoću jedne pumpe. Na vrhu tanka se nalazi vrh rezervara što je jedini dio tanka koji se proteže kroz palubu na koju su pričvršćeni grotleni poklopci i kroz ovaj vrh prolaze sve cijevi. Završni dio tanka obično je opremljen pumpnom bušotinom u koju su postavljene pumpe za teret.

Svaki tank tereta je opremljen sljedećom opremom: [2]

- dvjema pumpama
- linijom za ispuštanje tekućina koja izlazi kroz vrh rezervara i povezana je s glavnom linijom za tekućine

- pumpnim sustavom za slučaj nužde
- linijom za tekućine koja je povezana s glavnom linijom za tekućine na palubi i vodi do dna tanka preko kojeg se teret krca
- nizom linija za raspršivanje koje su povezane s linijom za kondenzat koja se koristi za hlađenje tankova
- sustavom za zagrijavanje
- uređajima za pokazivanje razine tekućine u tanku
- dva seta crijeva koji tvore rešetke na samom vrhu i samom dnu tankova
- linijom za paru spojenom na vrh rezervara kroz koju se para može povući kompresorom
- nizom uzoraka cijevi za ispitivanje pare pri oslobađanju plina.

Na slici 5., prikazan je tank za teret sa svojim dijelovima.



**Slika 6. Dijelovi tanka za teret [2]**

## 8.1. OPĆA NAČELA MANIPULACIJE TERETOM

Opća načela manipulacije teretom uključuju: [2]

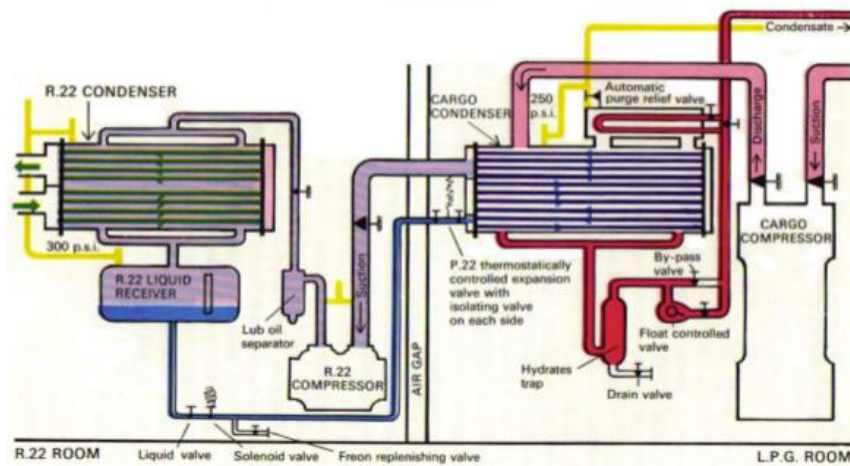
- ukrcaj
- iskrcaj
- čišćenje tereta od štetnih plinova
- hlađenje tankova prije ukrcaja tereta, a poslije čišćenja od štetnih plinova.

Brod obično dolazi uzdužno na ukrcajni vez sa teretom ohlađenim na potrebnu temperaturu. *Ukrcaj* se provodi kroz liniju za tekućine koja se nalazi na dnu tanka. Ako se raspolaže linijom za povrat pare, važno je utvrditi uvjete pod kojima se koristi. Ako se vraćena para izbacuje, linija za povrat pare se treba koristiti što je manje moguće, samo za ublažavanje visokog tlaka s kojim se sistem za ukapljivanje ne može nositi. Preporuča se rad postrojenja tijekom utovara jer služi za očuvanje proizvoda. U svakom slučaju, mora se ponovno pokrenuti kada se ukrcaj završi i nastavlja s radom tijekom plovidbe. Maksimalna stopa sigurnog ukrcaja se razlikuje od broda do broda, ali je obično u području od 500 kubičnih metara na sat za svaki otvoreni ventil.

Kod operacije *rashlađivanja tereta tijekom putovanja*, para se s vrha tanka povlači za hlađenje, komprimiranje, kondenziranje u tekućinu u kondenzatoru i kondenzirana tekućina se vraća u tank. Povlačenje pare smanjuje tlak pare u tanku ispod njegovog zasićenog tlaka pare tako da tekućina u tanku vrije, latentna toplota se povlači i tank se hladi.

Međutim, postoje dvije vrste sustava za ukapljivanje: sustav u dvije faze i kaskadni sustav. Kod dvostupanjskog sustava, kondenzator se hladi morskom vodom. To zahtijeva dvostruki kompresor za podizanje tlaka od otprilike atmosferskog tlaka na oko 15 bara.

U kaskadnom sustavu, rashladna jedinica koja koristi Freon 22 se ispušta u kondenzator ohlađen morskom vodom koji kondenzira Freon 22 u tekućinu koja prolazi od kondenzatora u tank Freona 22 gdje se sprema. Tekući Freon prolazi iz tankova tereta kao što je potrebno u kondenzator tereta gdje termostatski upravljani ekspanzijski ventil omogućuje isparavanje unutar niza cijevi u kondenzatoru tereta tako da se hladi. Isparavani Freon 22 se vraća u usisavanje kompresora u kojem se ciklus ponavlja. Na slici 6., prikazan je dijagram hlađenja u kaskadnom sustavu.



**Slika 7. Shematski dijagram kaskadnog sustava rashlađivanja [2]**

Veliki jednostupanjski teretni kompresor povlači paru iz tankova tereta i ispušta je u freon ohlađeni kondenzator. Osjetna i latentna toplina kondenzacije pare od tereta, zagrijevaju kondenzator tereta, ali čim se to dogodi, termostatski upravljani ekspanzijski ventil prima više tekućeg Freona koji isparava u cijevima kondenzatora tereta, održava kondenzator hladnim i tako uklanja toplinu dobivenu u procesu ukapljivanja.

Ukratko, Freon sustav uklanja toplinu iz teretnog sustava, a morska voda koja prolazi kroz kondenzator 22 odbacuje ovu toplinu u more.

Velika prednost kaskadnog sustava ukapljivanja je u tome da se isto rashladno sredstvo koristi za sve terete što znači da se može izraditi postrojenje gdje je jedini varijabilni čimbenik temperatura rashladne morske vode.

Pri hlađenju tereta, obično se hlade svi tankovi istovremeno, ali ako se kondenzat vraća u sve tankove, neki mogu primiti više kondenzata od drugih. Sukladno tome, uobičajeno je da se cijeli kondenzat vrati u jedan tank za određeno vrijeme dok se popravi, a zatim promijeniti tankove.

Prije početka *pražnjenja*, linije za tekućine na palubi se moraju prvo ohladiti. To se može izvršiti prije dolaska na iskrcajni vez tijekom rashlađivanja vraćanjem hladnog kondenzata u tankove preko linije za tekućine na palube i spuštati kroz liniju za ukrcaj.

Metoda pokretanja iskrcaja lagano se mijenja s vrstom dubinske pumpe kojom se raspolaže. Ako se raspolaže pumpom s niskim iskrcajnim tlakom kombiniranom s dodatnom pumpom za guranje, onda je najbolja metoda za započeti iskrcaj prvo ispiranje bilo kakve pare u liniji za tekućine na palubi pomoću dubinske pumpe za prijenos male količine tekućine iz jednog tanka u drugi, tako da se hladnim proizvodom potpuno napuni tekuću liniju na palubi. Zatvaranjem ventila za punjenje tanka u kojeg se teret prenosi, puna težina iskrcajnog tlaka dubinske pumpe se baca na usis dobavnoj pumpi. Dobavna pumpa se zatim može brzo



očistiti od svih preostalih para, a čim se napuni tekućinom može se pokrenuti i tekući teret se šalje na kopno.

S jačim dubinskim ili pumpama kompletno uronjenim u tank, uobičajeno je početi pražnjenje otvaranjem pumpnog ventila za iskrcaj oko četvrtine i zatim pokrenuti pumpu. Kada se prvi tank isprazni, ostatak crpki se može pokrenuti tako da se svi tankovi isprazne istovremeno.

Tijekom ispuštanja, zbog pada se razine tekućine u tanku povećavaju pare. Ako brzina isparavanja proizvoda u tanku ne bude u skladu s brzinom ispuštanja, tlak se u tankovima može približiti stvaranju blagog vakuuma. U tom slučaju, tlak se može smanjiti pomoću brodskog isparivača.

Kada je posebno važno iskrcati najveću moguću količinu, tankovi bi trebali ponovno potisnuti tlak prije iskrcaja.

Pri kraju pražnjenja, kada se podigne razina tekućine u tankovima, brzina pumpanja se mora usporiti zatvaranjem ventila za ispuštanje tako da održava povratni tlak. Na taj način se tankovi obično mogu pumpati do razine od oko 20 centimetara. Tekućina i para koje ostaju nakon pražnjenja se zadržavaju na brodu i koriste za hlađenje tankova za sljedeći teret.

Kod *čišćenja tereta od štetnih plinova*, nakon što se kondenzator isprazni od tekućine, prvi korak je isparavanje tekućine koja ostaje u tankovima nakon ispuštanja, a to se postiže grijanjem ostataka toplim plinom na dnu tankova. Da bi se to postiglo, para se s vrha tankova izvlači kompresorima i ispušta u toplinske zavojnice na dnu tankova i tako se uranja u preostalu tekućinu. Para koja se ispušta u zavojnice se kondenzira u tekućinu, a latentna toplina kondenzacije zagrijava okolnu tekućinu izazivajući je tako da prokuha i zamijeni paru koja se izvlačila, tako da tlak u tankovima ostaje konstantan. Budući da je pod tlakom ispuštanja od kompresora, para se unutar toplih zavojnica lako kondenzira jer, budući da je pod tlakom, temperatura na kojoj se kondenzira je mnogo veća od okolne.

Kondenziranu tekućinu u toplinskim zavojnicama pomiče tlak od kompresora do povratne linije topline u liniju za kondenzat, gdje se može ispustiti: u prostor palube, u drugi tank i preko bočne strane.

Nakon što je isparila sva tekućina iz tankova, tankovi se zagrijavaju cirkulacijom pomoću pare, korištenjem kompresora, usisavanjem s vrha tankova i iskrcaja se, preko plinske grijalice, ako postoji, u dno tankova, čime isparava i zadnji trag tekućine. Kada se kao teret prevozi amonijak čija je karakteristika otpornost i ako je operacija zagrijavanja tankova smanjena da bi se uštedjelo vrijeme i ventilacija je počela ranije, cijela operacija može biti uništena. Sa tankovima koji se zagrijavaju na približnu temperaturu okoline, tlak u tankovima se smanjuje na atmosferski tlak ispuštanjem na jarbol bilo kojeg višeg tlaka. Sljedeća faza ovisi o teretu koji se prethodno prevezio. Ako se prevezio LPG, para se mora pomaknuti inernim plinom, a ako se prevezio amonijak, para amonijaka se može pomaknuti zrakom. U slučaju premještanja LPG pare, inerni plin se uzima iz generatora inernog plina i prisili pod tlakom u vrh tankova, istiskujući teže LPG pare s dna. Koristiti će se, ako postoje,

odgovarajuće cijevi za čišćenje ili linija za tekućine i linija za pare, ako ne postoje. Na nekim je brodovima moguće inertirati tankove i premjestiti LPG paru.

U slučaju čišćenja nakon amonijaka, inertni proces se može izostaviti, a tankovi se ispiru zrakom. Budući da je amonijak lakši od zraka, zrak se uvodi na dno tanka istiskujući amonijak na vrh.

Ako je sljedeći teret kojeg treba utovariti LPG, tankovi trebaju biti neaktivni prije nego što se napune plinom. Postupak je isti kao za zamjenu propana s inertnim plinom, ali samo 70% po volumenu treba prenijeti u svaki tank. Ako se koristi ova metoda, atmosfera se unutar svakog tanka miješa tako da je rezultat koncentracija kisika u tanku 8% ili niža. Inertni plin se može nakon toga zamijeniti LPG parom koja se uvodi na dno tankova i inertni plin se raspršuje kroz vrh. Inertni plin, lakši od LPG pare, stvorit će sloj iznad pare tako da tu postoji mala mješavina ove dvije stavke.

Ako će se iduće krcati amonijak, tankovi ne trebaju biti inertirani, ali amonijakova para koja je lakša od zraka će se podići na dno tankova, istiskujući zrak sa dna. Ako su tankovi za palube koji sadrže dovoljno tekućine u svrhu čišćenja štetnih plinova broda montirani, neće biti problema budući da tekućina može isparavati u isparivaču broda i usmjeriti se prema potrebi u tankove za teret dok je brod na moru. Ako takvi tankovi nisu ugrađeni, postupak punjenja plinom i hlađenja se mora provesti kroz krajnji utovarni terminal. Ako je predviđena linija za povrat pare, isparavanje (ako je moguće) ili tekućina koja može isparavati u isparivaču, se uzimaju s obale, a tankovi se gase, vraćaju smjesu pare/inertnog plina na obalu na kojoj će biti spaljena. Ako nije predviđena linija za povrat pare, onda je sasvim sigurno pustiti mješavinu inertnog plina/pare na jarbol, kao što se to čini na moru, ali svi terminali se neće složiti s tim. Ako se ne slažu tada se jedan ili više tankova može upotrijebiti kao međutank, a drugi tank se puni s parom. Mješavina plina/zraka iz tanka koji se puni plinom se dovodi do dna međutanka gdje, zbog učinka sloja, inertni plin koji je lakši od LPG-a stvara sloj iznad LPG pare tako da tu postoji vrlo malo mješavine i praktički se čisti inertni plin oslobađa u atmosferu iz međutanka. Na taj način jedan tank može biti potpuno napunjen parom.

Kada je riječ o *hlađenju tankova prije ukrcaja tereta, a poslije čišćenja od štetnih plinova*, ako su tankovi napunjeni plinom na moru, u njima neće biti tekućine. Hlađenje se vrši pomoću procesa rashlađivanja. Ako je brod uzdužan, tekućina se može uzeti s obale i prskati u tankove. Kapljice tekućine raspršene u tankove će odmah isparavati i na taj način ih hladiti, ali povećanje količine pare u tankovima će uzrokovati porast tlaka u tankovima. Ovo povećanje tlaka se može oslabiti ukapljivanjem ili dopuštajući da se para vrati na kopno preko linije za povrat pare, ali ako bi to uključivalo požar, takva procedura može biti razorna za teret. Ukratko, najbrži način da se ohladi je prskanje tekućine u tankove i vraćanje viška tlaka na kopno preko linije za povrat pare. Najekonomičniji način je uzeti dovoljnu količinu tekućine s obale, održavati razuman tlak u tankovima i ublažiti višak tlaka ukapljivanjem, uzimajući dodatnu tekućinu kao tlak u tanku.

Brzina hlađenja ovisi od broda do broda, ali obično je oko 4°C po satu za potpuno rashlađene brodove. Kada je prisutnost tekućine čvrsto formirana na dnu tanka, može se

započeti s punjenjem u rasutom stanju kroz cijev za punjenje tekućina. Kada se tankovi hlade na moru rashlađivanjem nakon punjenja plinom, još će biti potrebno prskati tekućinu u tankove dok se tekućina čvrsto ne formira prije punjenja kroz glavnu liniju za tekućine.

## **8.2. POSTUPAK UPRAVLJANJA TERETOM**

Prije dolaska, linije za ukrcaj plovila se trebaju hladiti postupkom rashlađivanja. Obično će brod smanjiti balast u onoj mjeri u kojoj će biti sigurno rukovoditi brodom. Na moru, kako bi se izbjeglo oštećenje, plutači koji pokazuju razinu tekućine u tanku su podignuti i pričvršćeni na vrhu tanka. Također, određeni mjerači tlaka u izloženijim položajima, naročito na pari i tekućem teretnom razvodniku su nepokretni i odloženi.

Temperatura tankova možda neće biti onakva kakva bi trebala biti kod dolaska, ako zbog čišćenja plina nema dovoljno tekućine na brodu. Ako je tako, tankovi će, iako su prethodno ohlađeni što je više moguće, možda trebati dodatno hlađenje. To se postiže otvaranjem križnog priključka između linije za tekućine i linije kondenzata i proizvod se prima postepeno kroz linije za raspršivanje. Tekućina, kako se raspršuje u tankove, isparava, koristi latentnu toplinu i tako hladi tank, ali istodobno će, zbog povećanja pare prisutne u tanku, tlak pare porasti. Ako se na obali raspolaže linijom za povrat pare, višak tlaka se može osloboditi vraćanjem pare na obalu.

Kada je prisutnost tekućine dobro formirana na dnu tanka i tank je hladan, pravilan ukrcaj može započeti otvaranjem tekućih ventila za punjenje i povećavanjem brzine ukrcaja. Prilikom ukrcaja, iako su tankovi hladni, kompresija pare zarobljena u prostoru iznad razine podizanja tekućine će dovesti do povećanja tlaka pare. Taj se tlak može smanjiti hlađenjem što je bolje od vraćanja pare na obalu. Tijekom ukrcaja, brod se mora dodatno debalastirati. Treba voditi računa da brod ostane u uspravnom položaju, što znači zadržavanje ravnog tereta i balasta.

Postupak iskrcaja je vrlo sličan onome kod općih načela manipulacije teretom. Prije dolaska na terminal za pražnjenje, vodene linije palube se moraju ohladiti vraćanjem kondenzata u tankove tereta preko linije za tekućine na palubi. Po dolasku uz vez za iskrcaj, kada su priključni vodovi spojeni i tankovi usklađeni s prijamnicima, iskrcaj može započeti. Ventili za pražnjenje se otvore oko dva okreta, a ventil za punjenje se djelomično otvori i pumpa započinje s radom. Potrebno je pažljivo pratiti tlak iskrcaja i očitavanje ampermetra pumpe. Ako pumpa vrlo brzo ne pokazuje iskrcajni tlak, to je znak da nije postigla usis i da se mora odmah zaustaviti.

Glavno načelo na kojem se temelji sigurno oslobađanje od plina jest osigurati da nema mješavine para zraka/LPG-a, a ako postoje mješavine, da nisu ni komprimirane ni grijanje. Nakon što se osigura da kondenzatori budu slobodni od svih tekućina, postupak čišćenja plina spada u četiri kategorije; zagrijavanje ostataka na dnu tanka toplim plinom, zagrijavanje tanka, inertiranje i ispiranje zrakom.

## 9. IZRAČUN TERETA

Glavna razlika između izračuna tereta za konvencionalni tanker i tanker za gorivo je da se u konvencionalnom tankeru izračunava samo tekući proizvod ukrcaja ili iskrcanja. Dakle, tank prazan od svih tekućina se smatra praznim. Međutim, u tekućem tankeru za benzin, jer se tekući proizvod lako pretvara u paru, preostala para koja je ostala nakon iskrcanja se mora uzeti u obzir, pored tekućine ukrcaja ili iskrcanja, prilikom izračuna tereta. [2]

Budući da su tankovi na praktički svim tankerima za prijevoz ukapljenog plina kalibrirani u kubičnim metrima, to će se pretpostaviti da je slučaj u sljedećim primjerima. Ako su tankovi tereta kalibrirani u jedinicama koje nisu kubične, načela izračuna ostaju ista, ali se moraju koristiti potrebni faktori konverzije.

Prije ukrcaja, terminal na obali mora dati brodu gustoću na 15°C proizvoda koji se puni. Stoga je iznimno rijetko da brod napuni čisti proizvod (osim u slučaju amonijaka). Komercijalni propan obično sadrži male dijelove drugih ugljikovodika, butana, etana i slično, koji imaju učinak blagog mijenjanja gustoće proizvoda. Po završetku ukrcaja, vlast obično daje brodu kemijsku analizu ukrcaja tereta.

Kako bi se utvrdila ukrcajna količina, mala količina proizvoda se na brodu prije ukrcaja oduzima od ukupne količine proizvoda na brodu nakon ukrcaja. U slučaju utvrđivanja količine tereta koji se iskrcava, količina proizvoda koja ostaje na brodu nakon iskrcanja se oduzima od ukupne količine proizvoda na brodu prije iskrcanja.

Kod izračuna količine tekućine na brodu, mogu se koristiti dvije metode. Najizravnija metoda je pretvoriti gustoću tekućine na 15°C na gustoću temperature ukrcaja i zatim pomnožiti gustoću na temperaturi ukrcaja s korigiranim volumenom tekućine. Rezultat će biti u metričkim tonama. Za pretvaranje gustoće tekućine na 15°C do gustoće tekućine pri ukrcaju, može se pogledati i Tablica za smanjenje gustoće na 15°C ili se može pogledati Tablica za smanjenje volumena na 15°C.

Druga metoda uključuje prilagodbu korigiranog volumena zauzetog tekućinom pri temperaturi ukrcaja tako da bude ekvivalent volumenu kojeg će zauzimati ako se tekućina zagrije i poveća na 15°C. To se postiže množenjem korigiranog volumena koeficijentom ekspanzije za predmetnu temperaturu. Volumen na 15°C se pomnoži sa gustoćom na 15°C kako bi se dobila količina u metričkim tonama.

Obje metode daju isti rezultat jer se isti faktor (smanjenje volumena) može koristiti kako bi se dobila gustoća pri temperaturi ukrcaja ili kako bi se dobio volumen tekućine na 15°C. Drugim riječima, tri korištena faktora su isti, naime, volumen na temperaturi ukrcaja, faktor smanjenja volumena i gustoća pri 15°C.

Izračun količine pare na brodu je prilično jednostavan i formula se temelji na sljedećim zakonima: [2]

- Gay Lussacov zakon: Gustoća plina pri standardnoj temperaturi i tlaku je proporcionalna molekularnoj težini.
- Charlesov zakon: Volumen određene mase plina izravno je proporcionalan apsolutnoj temperaturi, pod uvjetom da tlak ostaje konstantan.
- Boyleov zakon: Volumen određene mase plina obrnuto je proporcionalan njenom tlaku, pod uvjetom da temperatura ostaje konstantna.

Što se tiče polurashlađenih i tlačnih brodova, koeficijent ekspanzije tekućih plinova je vrlo visok, a u polurashlađenim brodovima dopuštena ekspanzija može biti vrlo visoka. Kada je porast zasićenog tlaka pare zbog povećanja temperature takav da nije jednak postavci sigurnosnog ventila, tankovi za teret su ispunjeni tako da su 98% puni kada temperatura tereta dosegne 45°C. Plovila sposobna prevoziti polurashlađene i potpuno rashlađene terete pri atmosferskom tlaku obično imaju mogućnost mijenjanja postavki sigurnosnog ventila na oko 1.7 bara kada prevoze atmosferske terete do oko 6.3 bara kada prevoze polurashlađene terete.

U tlačnim brodovima koji ne hlade svoje terete, svi tereti se krcaju tako da zauzmu 98% volumena tanka kada temperatura dosegne 45°C.

## 9.1. SIGURNOST

Statistički podaci o nezgodama pokazuju kako se nezgode na brodu dešavaju deset puta više za vrijeme lučkih operacija nego na moru. Dvije glavne opasnosti su vatra i ulazak u prostore s manjkom kisika. Vatra predstavlja najveću opasnost za tanker za prijevoz ukapljenog plina. Najbolje je postupati na tri načina: sprječavanje požara, otkrivanje požara i gašenje vatre. Prevencija uključuje tri glavne stavke: izbjegavanje sudara (sigurna navigacija), sigurnosnu praksu i učinkovito otkrivanje koncentracije plina prije nego što dosegne zapaljivu smjesu.

Glavni rizik od sudara je uvijek u dugoj rijeci ili kanalu koji prelazi na plinske terminale, ali oni koji su odgovorni za plovidbu moraju osigurati da se prijelaz vrši samo pod dobrim uvjetima: dobra vidljivost i savršena sposobnost upravljanja i pouzdanost motora. [2]

Jedan od najvećih rizika je mogući gubitak električne energije. U dogovoru s glavnim inženjerom, električna opterećenja i dostupna opskrba se trebaju prilagoditi da bi se minimizirao rizik. U plitkim prijelazima, gdje je brod obavezan napraviti provesti tranzit na ravnoj kobilici, mora biti dostupan pouzdani trim indikator kako bi se osiguralo da upravljačka kvaliteta broda ne utječe nepovoljno zbog izravnjanja broda zbog plitkog učinka vode.

Iako osoblje tankera može poduzeti sve potrebne mjere opreza za plovidbu, ništa se ne može učiniti s obzirom na operacije drugih brodova koji istovremeno provode tranzit.

Rano otkrivanje požara je od najveće važnosti tako da se vatra može uočiti u svojim ranim fazama prije nego što se rasplamsa. Većina tankera je opremljena detektorima vatre u 3 tipa: toplinski senzori, detektori dima i detektori plamena. Detektori topline su

najjednostavniji tipovi i ugrađeni su u sve prostore i skladišta, a aktiviraju se uslijed porasta temperature uzrokovane vatrom. Detektori dima se nalaze u svim prostorijama strojeva, također i kompresorskim i motornim prostorijama. Detektori plamena se nalaze u strojarnici. Osjetljivi su na infracrvenu toplinu zračenu od plamena i reagiraju na treperenje plamena.

Većina posade na LPG tankeru je upoznata s postupkom suzbijanja požara u strojarnici ili nekoj drugoj prostoriji na brodu. Eksperimenti rađeni na kopnu su pokazali da je najučinkovitiji način borbe protiv požara na LPG tankeru isključivanje opskrbe na izvoru, a ne gašenje drugim sredstvima.

Glavni sigurnosni uređaj je sustav za zaustavljanje u slučaju nužde koji, kada radi, isključuje sve ventile u teretnom sustavu i isključuje električnu struju na opremi za teret. Sustav za zaustavljanje u slučaju nužde ima ugrađene osigurače koji se tope kada se zagriju i automatski rukuju sustavom za zaustavljanje u slučaju nužde.

Dvije vrste vatre na LPG-u se mogu predvidjeti. Vatra koja nastaje zbog zapaljenja od tekućine ili pare koja „bježi“ dok je teretni sustav netaknut, a druga je uzrokovana sudarom kada se isprazni teretni tank. U prvom slučaju se može normalno uspostaviti kontrola emisije tekućine ili pare i isključuje se izvor opskrbe gorivom te se dopušta da vatra samostalno izgori, ali da se ne širi. U slučaju požara koji nastaje uslijed sudara, ne postoji nikakav način kontrole bijega goriva kako bi ga ugasili bez da dođe u doticaj s ostatkom tereta. Najbolji način za preživljavanje je ukloniti brod s područja razlijevanja odlaskom na krmu i dovođenjem krmenog vjetrova tako da plamenovi budu otpuhani preko lukova.

## 10. ZAKLJUČAK

Pod pojmom ukapljivanja podrazumijevamo proces prevođenja plinova u tekuće agregatno stanje. Ukapljivanje se provodi najviše zbog lakšega prijevoza i skladištenja plinova, te za postizanje niskih temperatura. Plinovi se mogu ukapljiti hlađenjem, stlačivanjem ili kombinacijom tih postupaka pri čemu značajnu ulogu imaju kritični tlak i kritična temperatura koji su svojstveni svakom plinu posebno.

Ukapljeni plin može reagirati na razne načine: s vodom se formiraju hidrati, sam sa sobom, sa zrakom, s drugim teretom i s drugim materijalima. Kod reakcije ukapljenog plina s vodom, stvaraju se kristalne tvari tj hidrati. Do kontakta s vodom dolazi za vrijeme prijevoza pod određenim uvjetima. Kada ukapljeni plin reagira sam sa sobom, najčešći oblik takve reakcije je polimerizacija koja je inicirana prisutnošću malih količina tereta ili odgovarajućih metala. Polimerizacijom se oslobađa toplina koja ubrzava reakciju. Kod reakcije sa zrakom seformiraju nestabilni spojevi s kisikom koji mogu izazvati eksploziju. Određeni tereti mogu imati jake reakcije s drugim teretima, stoga treba spriječiti mogućnost miješanja. To se uobičajeno postiže upotrebom odijeljenih cjevovoda i ventila te odijeljenih sistema za pothlađivanje svakog tereta. Kod reakcije ukapljenog plina s drugim materijalima, Data sheets, odnosno podaci o karakteristikama, sadrže popis materijala koji ne smiju doći u kontakt s teretom.

Ukapljeni plin uglavnom se prevozi ukapljen pri atmosferskom tlaku i niskoj temperaturi koja predstavlja potencijalnu opasnost za osoblje broda i opremu.

Na LNG brodovima se tlakovi u tankovima moraju održavati unutar određenih graničnih vrijednosti, npr. održavanje izgaranjem isparenog dijela u glavnom propulzijskom sistemu ili ispuštanjem u atmosferu.

Operacije rukovanja teretom spadaju u dvije glavne kategorije: polurashlađene i potpuno rashlađene na atmosferskom tlaku. Sistem rukovanja kod polurashlađenih tekućina se sastoji od cilindričnih tankova koji moraju biti dovoljno snažni da podnesu maksimalni tlak tereta koji se prevozi na maksimalnoj predviđenoj temperaturi. Operacija krcanja se, kod potpuno rashlađenog tereta na atmosferskom tlaku, odvija u dva dijela; pred-hlađenje i zatim punjenje. S teretom izrazito niske temperature, linije za tekućinu na palubi se moraju ohladiti prije iskrcaja na isti način kao kod hlađenja polurashlađenog tereta.

Prema statističkim podacima o nezgodama vidljivo je kako se nezgode na brodu dešavaju deset puta više za vrijeme lučkih operacija nego na moru. Dvije glavne opasnosti su vatra i ulazak u prostore s manjkom kisika.

Većina posade na LPG tankeru je upoznata s postupkom suzbijanja požara u strojarnici ili nekoj drugoj prostoriji na brodu.



## LITERATURA

- [1] Komadina, P.: *Prijevoz ukapljenih plinova morem*, Pomorski fakultet, Rijeka, 1992.
- [2] Woolcott, T. W. V.: *Liquified Petroleum Gas tanker practice*, Glasgow, 1977.
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied\\_petroleum\\_gas](https://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_petroleum_gas) (20. 7. 2017.)
- [4] <http://www.webgradnja.hr/clanci/ukapljeni-naftni-plin-unp-i-njegove-karakteristike/217/> (20. 7. 2017.)
- [5] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Ukrcaj\\_i\\_iskrcaj\\_ukapljenog\\_plina\\_LPG\\_i\\_LNG](https://hr.wikipedia.org/wiki/Ukrcaj_i_iskrcaj_ukapljenog_plina_LPG_i_LNG) (5.9.2017.)

## POPIS SLIKA

Slika 1 Prolaz osovine kroz plinovitu pregradu preko nepropusnih brtvi [2] .....	21
Slika 2. Raspored cijevi u tanku tereta .....	22
Slika 3. Potpuno rashlađeni brod [2] .....	31
Slika 4. Sustav sa samonosivim prizmatičnim tankovima .....	32
Slika 5. Presjek prizmatičnog tanka tipa B .....	32
Slika 6. Dijelovi tanka za teret [2].....	34
Slika 7. Shematski dijagram kaskadnog sustava rashlađivanja [2] .....	36

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Naziv, formule i sinonimi ukapljenih ugljikovodika koji se prevoze brodom [1] ....	5
Tablica 2. Svojstva LPG-a [1].....	15

## POPIS KRATICA

LPG (engl. *Liquified Petroleum Gas*)

ukapljeni naftni plin

LNG (engl. *Liquified Natural Gas*)

ukapljeni prirodni plin

tj

to jest

IMO (engl. *International Maritime Organisation*)

Međunarodna pomorska organizacija

SVP (engl. *Saturated Vapour Pressure*)

tlak zasićene pare